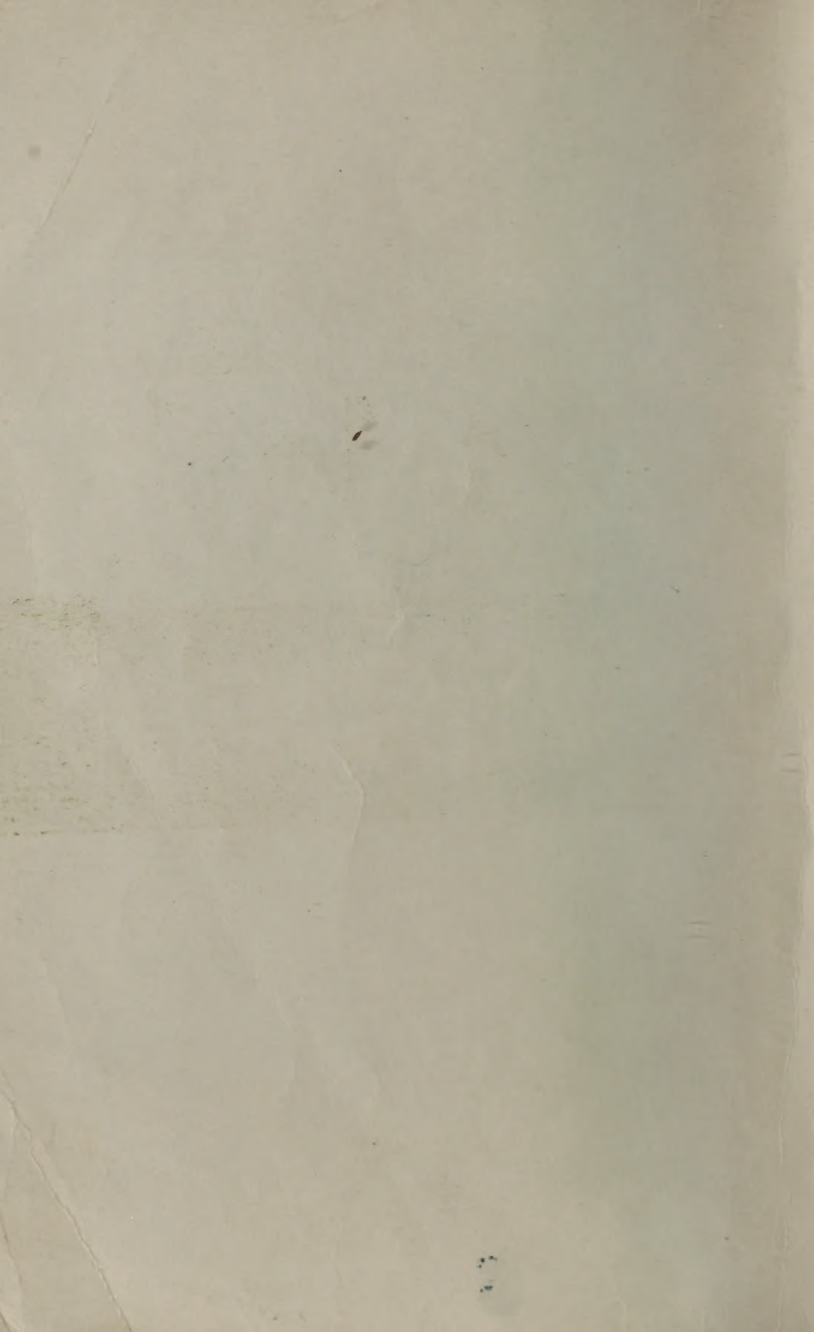


环境污染与植物

中国科学院植物研究所二室 编著

科 学 出 版 社



环境污染与植物

中国科学院植物研究所二室 编著



科学出版社

1978



内 容 简 介

全书分三个部分，第一部分综述植物及植物群落与环境之间的相互关系。第二部分介绍大气、水质、土壤和农药污染对植物的影响以及植物对被改变了的环境条件的反应。第三部分叙述植物在环境保护中的作用，重点介绍植物对污染物的吸收、净化、代谢和积累作用。

本书为中级科普读物，可供广大工农兵、基层干部和从事农、林、卫生、环境保护等方面工作人员参考。

环境污染与植物

中国科学院植物研究所二室 编著

*

科学出版社 出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

*

1978年3月第一版　开本：787×1092 1/32

1978年3月第一次印刷　印张：4 5/8　插页：1

印数：0001—16,600　字数：89,000

统一书号：13031·701

本社书号：1011·13—8

定价：0.44 元

目　录

前　言

众所周知,人类赖以生活的自然环境是由大气、水、土壤、生物等因素组成的。人类与其他生物和无生命的环境紧密地联系在一起,相互制约,相互依赖,保持着相对的稳定和平衡。但是,人类不能被动地等待自然的恩赐,必须主动地改造环境,充分利用自然。近百年来随着工农业的发展,显示出人类向生产的深度和广度进军,全面开发自然、利用自然已提到日程上来了。

什么是环境污染?一般认为:由于人们的生产活动,使环境的组成成分或状态发生了变化,与原来的情况相比,环境素质恶化,扰乱和破坏了生态系统和人们的正常生活条件,就叫做"环境污染"。具体来讲,环境污染是指:有害物质(主要是工业的"三废")对大气、水质、土壤和动、植物的污染,并达到致害的程度,以及噪声、放射线等对环境的损害。

近年来世界很多地区的环境遭到日趋严重的污染和破坏,然而,当代的环境污染和破坏之所以严重,并成为社会问题,是资本主义发展的必然结果。今天,资本主义发展到了帝国主义阶段,生产处于严重的无政府状态,垄断资本集团为了追求最大限额的利润,不顾人民死活,任意排放有害物质,大气中经常烟雾弥漫,河流湖泊水质污浊,食物潜藏着各种毒

物，引起许多疾病，使广大人民的健康和生命受到严重的威胁。特别是美苏两个超级大国竭力推行帝国主义的掠夺政策、侵略政策和战争政策，对人类环境的破坏尤为严重，对环境的污染和毒化已超出了一国的范围。因此维护和改善人类环境，是关系到世界各国人民和经济发展的重要问题，是各国人民的迫切要求。

我国人民在毛主席的无产阶级革命路线指引下，贯彻**独立自主，自力更生**的方针，把我国由一个贫穷落后的旧中国，建设成为一个初步繁荣昌盛的社会主义国家，工农业生产取得很大的发展。与此同时正按照全面规划，合理布局，综合利用，化害为利，依靠群众，大家动手，保护环境，造福人民的方针，有计划地有步骤地采取措施，预防和消除工业废气、废水和废渣对环境的污染。这是关系到保护人民健康、巩固工农联盟和多快好省地发展工农业生产的重要问题。

环境污染的防治，是一项极其复杂的任务。植物与环境污染的防治有着密切的关系。本书从植物与环境因素的关系入手，着重介绍植物对环境污染物质的生态反应及其在改善和净化环境中的作用。希望对我国目前正在开展的群众性的保护环境工作，提供一些有关的参考资料。我们收集了国内外有关环境污染对植物影响的资料，特别是汇集了目前国内的研究成果编著成册。本书所引用的部分相片，承江苏省植物研究所、西安植物园、广东省植物研究所、兰州大学生物系等单位提供，在编写过程中，曾得到国务院环境保护办公室及江苏省植物研究所有关同志审阅并提出宝贵意见，在此一并

表示衷心感谢。

由于我们水平有限，缺点和错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

编　者

1976年11月



图 2.9　葡萄叶片受氟化氢危害症状



图 2.12　氟化氢对苹果的危害症状



图 2.23　葡萄叶片受氯气危害症状



图 2.24　苹果叶片受氯气危害症状



图 3.2　扁豆受害出现浅黄色伤斑



图 2.1　二氧化硫对板栗危害出现伤斑



图 3.1　二氧化硫对菠菜危害症状白色伤斑



图 3.3　氯气对菠菜的危害特点

一　植物及植物群落与环境的相互关系

自然界生长着各种各样的植物，在我们伟大社会主义祖国辽阔的土地上，就有三万多种植物。大家知道，任何植物的生长发育，是与环境有密切联系的，也就是说，每一种植物一般只能在对它适宜的环境条件下生长发育，而植物的特性是长期对环境条件的适应所形成的。因此，在不同环境条件下，就有不同的植物种类。就我们最熟悉的植物来说，水稻生长于水田，玉米、小麦只能种在旱地；柑桔生长于我国的亚热带，而苹果则分布在温带。植物的生长发育规律又能反映环境的各种特点。例如，常绿植物反映出该地区全年温度较高，雨量充沛；落叶植物是冬季有低温的反映。另一方面，植物的生长发育对环境也产生一定的影响，俗语说，“大树底下好乘凉”就形象地表明了植物对环境的影响，林木的防风固砂等作用也是众所周知的事实。总之，植物与环境有着极密切的关系，植物能改造环境，同时又是一定环境条件的产物。

植物对环境的要求是千差万别的，棉花、大豆、玉米等作物在连续几天大雨后，地里到处积满了水，如果不及时排除，就会被淹死。可是荷花就不同了，它的植株大半段是长期泡

在水里的，而浮萍等水生植物，整个植株泡在水里，它们都安然无事，这说明不同植物所需的环境条件有很大的差异。而且，由于环境的影响，荷花等水生植物形成了一些特殊的结构，最明显的特点是它们的根能吸收水里的氧气。可以说，植物的形态、结构和生长发育情况也反映环境条件的特点，例如，长期生长在高温多雨地区的树木，树皮薄、叶片薄而宽、根系浅；适应干旱地区的植物，树皮粗糙、叶片小而坚硬、根系深等等。

环境是由多种生态因子组成的复合体，它包括光、温度、水、空气和土壤等，这些因子不是孤立的，而是相互影响和制约的。例如，温度对空气湿度和土壤水分具有直接或间接的影响。而空气湿度和土壤含水量等又具有相互调剂的作用。微风对许多生态因子起着各种有益的辅助作用，风速过大时，则对温度、湿度等因子产生破坏性的作用。因此，可以说环境对植物的作用是各生态因子的综合作用。但是在综合作用里还可分出主导因子，特别就植物一定发育阶段而言，某一生态因子可以比其它因子起更大的作用，如植物光周期中的光因子，春化发育阶段中的温度因子，这种能起更大作用的生态因子就是主导因子。

在植物和环境的相互关系中，环境是植物变化的外因，环境中各生态因子只有通过植物内部的改变才能起作用。例如，温度上升，风速增大，大气湿度降低，促进植物的蒸腾作用（水分消耗）加速。当植物由于蒸腾所消耗的水量超过根系吸水量时，植物就萎蔫，久了就要死亡。但是，在植物的各个发

育阶段中,有的阶段对某个环境因子的需要量特别多,如有些果树在果实膨大期需水特别多,而冬季休眠期对环境因子作用的反应很迟钝,需要量也非常少。此外,植物的各发育阶段对生态因子都有一个最适需要量和所忍受的最高、最低限度。这些都说明外因必须通过内因起作用。

植物与各环境因子到底有哪些关系呢?哪些环境因子对植物的生长发育起着重要作用呢?

(一) 光

光在绿色植物的生活过程中起着极重要的作用,植物需要阳光正如人们需要氧气一样。绿色植物依靠叶子里的叶绿素,在太阳光照射下,把二氧化碳和水加工成糖和淀粉等有机物质,供植物生长发育的需要。高产作物的干物质,90—95%是靠这种作用制造出来的。光对植物的生长及形态结构的建成有明显的作用。光能刺激组织和器官的分化,制约器官的生长发育速度。这是因为,光是光合作用的能量来源,而光合作用合成的有机物质是植物生长的物质基础。此外,光能促进细胞的增大和分化,控制细胞的分裂和伸长。植物体积的增长,重量的增加都与光照强度有密切关系。植物体各器官和组织保持发育上的正常比例也与一定的光照强度有关。一般来说,光强度自某一最低点开始,光合作用随光强度上升而增强,直至达到最适点,过强的光可能产生有害的作用。

凡在光照强处,会引起大气和土壤的温度上升,间接地影

响植物的蒸腾和吸收作用以及植物的整个生理活动，因而也影响植物的生长发育。

人类的生产活动常引起自然环境的变化。在工业集中的城市，由于未经妥善处理的废气排放，林立的烟筒黑烟滚滚，使大气中充满了尘埃和各种有毒气体，因而使光量和光质发生了一定变化，也影响植物的正常生理活动。光还影响植物吸收和代谢污染物的能力。因此，光因子无论在清洁的环境中或在污染的条件下，都对植物发生着重要作用。

（二）温　　度

植物在生活的各阶段中的各个生命现象只有在一定的温度范围内才能发生，而且每种植物生命活动最活跃时都需要一定的温度。对同一种植物的不同机能的适宜温度也有差别。温度对叶绿素的形成，对光合作用、呼吸作用等的进行，对根的活动、种子的萌发、叶和花的形成以及对生长等都有重要的意义。温度还影响空气的相对湿度，因而也制约着植物的蒸腾作用。各种植物都需要一定的温度条件。

一般的植物是在 0—35℃ 的温度范围内生长，温度上升，生长加速，温度降低生长缓慢。温度也是植物发育的主要条件，对植物生长最适宜的温度，不一定对发育是最适宜的，生长速度最快的温度，往往对植物的健壮发育不是最好的。相反，由于消耗物质的过程太旺盛，在高温下生长的植物常较瘦弱，因而不利于发育。植物发育阶段对温度的反应要比生长

阶段更敏感。

温度对植物生长、发育的影响，主要是通过对植物的生理活动的影响而实现的。温度的高低直接影响植物对水分、矿质营养的吸收。在一定温度范围内，温度上升，植物对水分、盐类的吸收能力加强，光合效率提高，酶活性增强。因此，温度上升能促进细胞的分裂和伸长而增加植物的生长量。土壤温度降低，根细胞的水分透性和土壤中溶解物质的扩散速度缓慢，阻碍盐类同化转移过程。加上低温使植物呼吸、蒸腾作用减弱，因而使水分、矿质营养吸收减少，但不同植物减少的程度不同，喜温植物比耐寒植物减少的更多。例如，当土温降低到 20℃ 以下时，黄瓜的吸水速度显著降低，引起严重的伤害，但能适应较低温度的一种甘蓝，当土温达到 10℃ 的情况下，还能照常吸水。温度骤然下降对植物吸水有更明显的影响。特别高的土温也能影响根系的吸收。土温过高，使根系过早成熟，木质化几乎达到了根尖，减少了吸收的表面积，温度过高还会抑制根细胞内酶的活动，破坏根的正常代谢过程，直接影响根对水分和矿质营养的吸收。一般来说，土温稍低于气温，对植物吸收水分和肥料最有利。植物对各种营养元素的吸收也受温度的影响。温度升高，磷最容易为植物所吸收，其次是氮。

此外，气温高低还直接影响光合、呼吸作用。一般植物光合作用的最适温度不超过 30—35℃，比呼吸作用的最适温度为低。例如，土豆在20℃时的光合作用效率达到最大值，但在同样温度下，呼吸作用则只有其最高强度的 12%。呼吸作用

达到最高强度时的温度为48℃，但在这种温度条件下，光合作用已停止。植物的生长和生殖，都要求积累丰富的养料，温度上升到光合作用最适点以上时，就不利于营养物质的积累，也妨碍植物的生长和发育。

植物的蒸腾作用也受温度的影响，一方面是气温的高低能改变空气湿度而间接影响蒸腾作用，另一方面，温度的变动直接影响气孔的开闭，因而也影响植物吸收有毒气体的能力。温度还使角质层蒸腾与气孔蒸腾的比率发生变化，温度愈高，角质层蒸腾的比例也愈大。当蒸腾作用过大而植物吸水没有相应提高时，使植物萎蔫甚至死亡。

工业生产由于利用各种燃料，常使周围环境的温度升高，过高的温度会增强植物呼吸和蒸腾作用，情况严重时，则使植物死亡。工业生产过程中产生的余热水排放到水里或农田，会提高附近水面的水温和地温。由于植物只有在其合适的温度条件下，才能正常生长发育，人们在利用余热水浇灌农作物时，都把热水冷却到合适的温度。温度不仅在正常条件下，影响植物对水分和矿物营养的吸收，同时也影响对污染物质的吸收和代谢。

（三）水　　分

水分是植物生长发育的重要条件，是植物的器官和组织主要组成成分之一。它能溶解营养物质，使营养物质易于为植物根所吸收，并经过输导组织输送到植物的各部分，供植物

生长发育的需要。水分还能调整植物体的温度，参与植物一切组织细胞的构成和生命活动。因此，有了水才有生命，没有水，植物就死亡。

植物吸收的水分大部分消耗于蒸腾，据统计，每吸收1000克水，大约 990 克用于蒸腾，只有 10 克保持在植物体内，并且大部分集中在液泡中。植物由于蒸腾大量失水而破坏水分平衡不仅是经常发生的，而且是植物所必需的。因为蒸腾大量失水会引起叶片内汁液浓度的增加，而叶汁浓度大多是根系吸水的动力。这样，旺盛的蒸腾一方面加速了植物对水分和养分的吸收和运转，充分满足植物生长发育的需要，另一方面在干热地区由于蒸腾失水，还能降低植物体内的温度，保证气孔吸收二氧化碳的作用正常进行。土壤和大气中水分的多少都能影响植物体内水分的平衡；另一方面环境中的生态因子之间又是相互制约、相互影响的，如温度的高低、风力的强弱等都能影响植物的蒸腾和水分的吸收。同时，不同植物种、品种由于生物学特点不同，具有不同的吸水和蒸腾效率，更能直接影响植物体内的水分平衡。如果水分平衡严重失调，并且持续时间太长，植物就会干死，如果水分减少缓慢，持续时间不长，植物能产生种种保护，以适应干旱条件，继续生存下去。例如，当土壤水分不足时，植物体内半纤维素增加，淀粉开始转化为糖，提高了细胞的渗透压，增强了植物的抗旱性；植物遭受旱害时还能引起气孔关闭，呼吸作用增强，光合作用减弱。因为气孔关闭能减少水分蒸腾量，呼吸作用过程能产生水，暂时缓和水分亏缺的矛盾，光合作用减弱可以节约水；土壤水分

减少还能相应地使根系扎得深、伸展得宽，支根及根毛发达，抗旱能力增强，并在长期的适应中，形成新的生态型。

水是通过不同存在形式（湿度、雨、冰雹和雪）、数量和持续时间三方面对植物起作用的，即对植物的生长、发育、生理活动都有极重要的作用。水分条件适宜，植物生长健壮，叶面积大，有利于光合作用，就为良好的发育和为丰产创造了条件。各种植物的需水量是不同的，甚至不同发育阶段都要求最合适的水分条件，少了不好，多了也不行。因为大气湿度过高，植物蒸腾减弱，甚至停止。蒸腾停止能引起根系失去吸水的功能，土壤中的养分就不能被植物吸收利用。土壤水分过多则土壤空气就减少，由于土壤中缺氧，根系呼吸减弱，有毒物质大量积累，导致根系中毒死亡。土壤中水分过多，也会影响茎、根的生长。

水分不足同样能影响植物的生长发育。当水分不足时，植物的营养生长和生殖生长会发生尖锐的矛盾。在干旱的年份，作物植株矮小，并提前开花结实，未老先衰。当土壤缺水时，树叶往往从果实里夺取水分，使果实里的水分向叶片流动，以补充叶片的蒸腾失水。这样就引起果实的萎缩和早落。缺水还会使果树的果实变小，果胶质减少，木质素和半纤维素增加，淀粉含量减少，糖的含量略有增加。

干旱还能削弱植物抗病虫害的能力，假如水稻受旱时就容易感染稻瘟病等。这是因为在土壤水分不足的条件下，植物体内氨态氮和可溶性氮（氨基酸、酰胺等）增多，使植物从土壤中吸收的硅酸量减少，并且还阻碍硅酸在植物体内的移动，

结果导致茎叶表皮细胞中硅酸的沉积量减少，以致病菌容易侵入。

水是植物不可缺少的环境因子，农、林、牧、副、渔业处处离不了它。在工业生产中同样需要大量用水，并且通过各种生产流程产生出大量废水。在干旱及半干旱地区，水源不足的矛盾常常随着工农业生产的迅速发展而突出起来。为了充分发挥水的作用，利用工业废水灌溉农田已成为充分利用水源的途径之一。但由于工业废水改变了天然水所特有的物理和化学性质，对植物会带来有利的，也可能是有害的影响，许多污染物质溶解于水后，才为植物所吸收，这就向人们提出值得注意的新问题。

（四）空　气

空气主要由氮（约占78%）和氧（约占21%）组成。此外，还有一定数量的氩（少于1%）、二氧化碳（约0.03%）和极少量的氢，以及一些不固定的成分，如氨、二氧化硫、水汽、烟尘和极微量的由植物分泌的挥发性物质等。

空气是植物生存所必需的条件，没有空气植物就要死亡。占空气容积3/4以上的氮，对于大多数高等植物作用不大，因为植物不吸收气态氮，只有少数低等植物吸收气态氮，例如，根瘤菌、固氮菌、少数土壤微生物和少数蓝绿藻等。它们吸收氮，把它结合成含有氮的有机化合物，成为它们自己的身体的有机物，这种有机物死后经过分解变成高等植物所能吸收的

无机盐,如硝酸氨、亚硝酸铵和铵盐等。

在空气中的各种气体，作用最大的是二氧化碳和氧。二氧化碳是光合作用的主要原料，是植物为了合成有机物所必需的气体。氧是呼吸作用的物质条件。这两种气体浓度的高低都能直接影响植物的生长发育。由于空气中氧含量高(21%)，它在数量方面的小变动对植物无任何影响。二氧化碳的情况就不同了,它在空气中的含量只0.03%,空气中二氧化碳的含量只要很小的变动，便可能对光合作用产生很大的影响。空气中二氧化碳的含量是常有变动的，特别是在植物周围的空气里。它有时比正常情况下的二氧化碳量多一倍，有时减少一倍。植物白天进行光合作用,消耗二氧化碳,夜间放出二氧化碳;夏初，当植物的光合作用强度达到最高潮时，二氧化碳含量减少到低于正常，到了秋天，当光合作用减弱，土壤中生物的呼吸作用还很强烈的时候，二氧化碳的量便增加。因此,植物周围空气中二氧化碳的含量,与植物和土壤微生物的活动是有密切关联的。空气里二氧化碳含量的增加不仅对光合效率起作用,而且在它的影响下,可以看到气孔的部分关闭和蒸腾作用的减弱等。

空气中的其它少量气体,如氨,可被空气中的水蒸气所吸附,作为雨雪降落下来,成为土壤中氮的无机化合物。由植物分泌的少量挥发性物质,有的是抗菌素或生长刺激素,对植物的抗病和生长有一定的作用。

不仅空气的气体成分对植物有影响，而且空气的物理性质以及空气里的烟尘和水汽也具有生态作用。空气的密度对

其它的气候因子会有影响。高原地区由于空气稀薄，因此气压低，光照强度大、湿度也大。悬浮在空气里的水蒸气，降低空气的透明度和光照强度，并吸收红外线，光质也受影响。空气里的烟尘附着在叶面，使植物光合作用减弱，呼吸困难。工业废气的排放，会改变大气中各种气体成分，增加烟尘，对植物产生不利影响。

由于气压的变化，空气经常是流动的，流动的空气就是风。风对植物繁殖起着重要作用，但对植物体也能产生机械损伤。此外，风能改变空气的温度和湿度，阻止水蒸气积集在植物气孔孔隙间，加强蒸腾作用。旱风往往对植物的危害很大，影响种子发芽，甚至使植株枯死。风对废气的扩散有很大影响。在静风条件下，各种有害气体不易扩散，常常使污染源附近植物受害。风速较大时，各种气体容易扩散，在高浓度有害气体影响下，生长在向风处的植物常常受到有害气体的危害。

（五）土　壤

土壤是植物生长发育的基地，植物在整个生长发育过程中，需要土壤经常不断地供给一定数量的水分、养分、温度和空气。而土壤中的水分、养分、温度和空气经常处于互相影响，互相制约的矛盾过程中，它主要取决于土壤的物理性质和化学性质。

土壤中有很多空隙，空气和水分充满这些空隙，它们在土

壤空隙中互为消长，最适宜的比例是各占50%。土壤中许多物质的转化过程，只有在有水分存在并直接参与下才能进行。土壤中矿质养分的溶解和转化，有机物的分解与合成都需要一定数量的水分。但若水分过多，土壤空气流通不畅，氧气缺乏，妨碍作物根系的呼吸和养分的吸收，甚至使根系腐烂。土壤中水分过少，不能满足植物正常生长发育的需要，同时由于通气良好，好气细菌氧化作用过于强烈，土壤有机物质的含量极为贫瘠，也影响植物的生长，因而土壤中的水分含量是主要因素，它不仅可以调节土壤中的空气，而且可以影响土壤的温度，土温的高低影响种子萌发，扎根出苗，根系活动和养分的转化。土温的高低还受季节和昼夜气温变化以及土壤性状的影响。

植物获得它的营养物质部分来自空气，部分来自土壤。植物为了正常生长发育，必须从土壤中摄取其所需的矿质营养。对高等植物来说，经常需要的有氮、磷、钾、硫、铁、钙、镁等，植物缺少其中的任何一种元素则会出现病态，或者完全不能生长。土壤中营养物质的种类和数量具有决定性作用，假如某种物质的含量少于必需的最低量，则植物不能茂盛生长。但不同的植物对各种元素的需要量是有差异的。可溶性盐类供应不足，对植物的生长不利，而含量过多对大多数植物也有害处。因为水分的渗透和植物的吸收作用会受妨碍。通常土壤中某种元素的含量越多则植物所吸收的数量越大。但植物对矿质元素的吸收还有其选择能力，有时某种元素在土壤中的含量很少，而需要这种物质的植物能够把它积集起来，植物吸

收各种元素的比例与土壤中所存在的各种元素的比例是不一致的。许多事实都证明，某些元素在含量少时对植物是有益的，甚至必不可少的，吸收过多也会引起毒害。在污染的土壤中，一些污染物、特别是难以分解的金属元素的大量积累，当植物吸收量过大，就会中毒受害。

植物对矿质元素的需要，不仅是营养上的原因，同时这些元素还参加植物体内的新陈代谢过程。例如钙在细胞里和有害的草酸化合成无害的乙二酸钙盐，铁是形成叶绿素所必需的元素。

土壤酸碱度(pH)对植物有间接和直接的影响，酸碱度通过对土壤物理性、土壤微生物活动和矿质养分溶解度的影响，间接地对植物的生长发育起作用。土壤酸碱度的变化会影响矿质元素的可吸收程度，也影响植物对某些金属元素污染物的吸收。酸性土容易引起缺磷、钙、镁，增加汞、铬、砷等化合物的溶解度，易于被植物所吸收。碱性土则容易出现缺铁、锰、硼、锌等现象。土壤酸碱性也直接影响植物的发芽和生长发育。

不同植物种对土壤酸碱度的反应不同，有些植物对酸碱度的适应幅度较大，就大多数植物来说，在酸碱度 3.5—9的范围内均能生长发育，最好最适宜的酸碱度，范围却较窄。例如，榆树生长在中性和弱碱性的土壤上；荷木在适度酸性的土壤上生长；马尾松在酸性的土壤上生长最好。

根据植物对土壤酸碱度反应和要求的不同，可以把植物划分为酸性（$pH < 6.7$)、中性（pH在6.7—7.0)、碱性（$pH >$

7.0）等三种类型；反之也常以土壤上生长的植物来判断土壤的酸碱度，这是植物对土壤酸碱度的指示作用。

此外，土壤微生物对高等植物的生长发育也有影响，其作用有两方面：有利的影响如有些微生物能使有机物和无机物分解后矿质化，变为植物所能吸收的状态。硅酸盐菌分解土壤里的硅酸盐并分离出高等植物所能吸收的钾。硝化菌把氨盐类变成亚硝酸盐类和硝酸盐类。有些细菌使土壤中有毒的硫化氢、甲烷及其他气体氧化，变成对植物为无毒害的，如硫化细菌能使有机体残余分解时分离出的硫化氢氧化成硫酸盐。其它还有固氮菌能固定空气中的游离氮，增加植物的氮素营养。有些细菌会产生吲哚乙酸和其他的生长激素，促进植物的生长。

但有些细菌对植物是有害的，如反硝化细菌，把硝酸盐分解成氮的分子，减少土壤中的氮肥。镰刀菌能使植物发生许多病害等。

总之，土壤微生物和高等植物之间有密切的关系。土壤微生物依靠绿色植物所产生的有机物质为养料，而绿色植物也依靠土壤微生物的分解和氧化作用获得矿质营养元素，因而绿色植物和土壤微生物的种类和数量的变化是相互直接关连的。采取某种措施，可以促进有利的微生物繁殖生长。

上面主要阐述了环境因子对植物生长发育的影响，植物还能改变环境条件。不过单株植物改变环境条件的作用是有限的，只有植物群落才有显著的作用。在自然界，大多数植物都不是单株孤立生长，它总是和其他植物或植株生长在一起，

这些生长在一起的植物并非杂乱无章和偶然的组合，而是按照各种植物本身的形态特征、生活习性、需要的生活条件和环境的特点，以及在长期历史发展过程中形成了植物与植物之间、植物与环境之间彼此影响、互相制约的关系，使一些植物种类有规律地组合在一起。这种植物有规律的组合，称为“植物群落”，正如我们经常所见的森林、灌丛、草原以及人工栽植的果园、农田作物和菜园等。由于植物对环境的影响，使植物群落内部形成特有的光照、温度、水分、空气和土壤条件，而且使群落周围的小气候也发生变化。

植物群落对于地球表面水分循环的作用很显著。群落分布面积愈大，结构愈复杂，其作用就愈大。以森林群落为例，降落到森林中的雨水，被植物体截留和吸收了一部分，被土壤和地表枯落物吸收了一部分，但大部分的雨水以地面迳流和地下潜流的方式流出。由于植被的阻挡，地面迳流的雨水流势减缓，并减少了对土壤的冲刷；而渗入地下的雨水，则源源不断地流入江河，很好地调节了水分循环。另一方面，森林群落内的各种植物又从土壤中吸收大量的水分，同时，不断地进行蒸腾，因而大大增加了森林上空的水汽，相应地降低了森林上空的气温。同时，由森林蒸腾到大气中的水汽，又汇集成雨水降落下来。因此，森林群落分布面积较大的地区，降水量较大而均匀，气温的变化相对地稳定，气候较温和，空气也较湿润。

植物群落对其邻近地段还具有降低风速的作用，其作用的大小主要取决于群落的层次结构的复杂程度、群落的高度

和郁闭度等。群落愈高，层次结构愈复杂，郁闭度愈大，降低风速的作用也愈大。由于森林降低风速，还间接引起水分蒸发减弱、土壤湿度增加、积雪增多、土壤的风蚀减弱和空气湿度的变化缓慢等。

以上所述的植物、植物群落与环境之间的复杂关系，归结起来，就是能量和物质的转化循环。在这个转化循环过程中，植被是这个过程的中心。植物依靠叶子里的叶绿素，接受太阳辐射的一部分能量，结合二氧化碳、水和由根部吸收的无机元素，加工成糖、淀粉和蛋白质等，即把光能转化为贮藏于体内的化学能，供植物生长发育的需要，也形成复杂的植物组织。此外，自然界还存在许多其它细菌、真菌和一些原生动物。它们把植物枯枝落叶中的有机物质分解，其中一部分物质返回大气层，参加大循环，一部分存留在土壤中，供植物吸收利用。就这样，自然界物质的合成及能量的积蓄与物质的分解及能量的释放，永远不停地进行着。这就是植物与环境在长期的自然发展过程中形成的一个相对平衡的物质与能量循环转化的系统。但是，这个系统不是一成不变的，而是不断运动，不断变化的。在这个系统中，只要有一个因素发生激烈地超越一定限度的变化，其它因素就会发生一系列的连锁反应，甚至使整个体系受到破坏。

随着近代工业的迅速发展，工业生产排放的废气、废水、废渣，使自然环境中增添了一些新的物质。这些物质进入大气、水、土壤后，使大气、水、土壤等的化学成分和性质发生变化，造成环境污染，影响植物的生长发育，给植物与环境的相

互关系中带来新的问题。

污染大气的一般是有毒气体、粉尘、有毒重金属元素和放射性物质。有毒气体如二氧化硫、一氧化碳、二氧化碳，二氧化氮以及碳、硫、氟与氢的化合物等。粉尘对空气的污染是各式各样的，如岩粉、灰尘，而对大气污染最严重的是燃料燃烧时排入空气中的粉尘。进入空气中的有毒重金属元素以汞及铅较普遍，其次有镉、铬、锌、砷、钛、钒和钡等。

水质污染主要有各项工业矿区、废水和农药几方面，而农药污染往往对土壤更直接些。

土壤污染主要来源于化肥、有机氯和有机磷农药及含重金属铅、砷、汞的农药。还有工业生产过程中排出的矿渣、炉渣、粉尘以及城市垃圾等。

大气、水和土壤的污染不是孤立的，而是很紧密地联系在一起。例如，大气中的酸性物质（如二氧化硫和硫化氢）被降水带入土壤，最容易使土壤失去养分，土壤中，植物利用作为养分的盐及易于溶解的矿物质因酸沉积而溶滤出来，进入地下水后，被河水带至海洋。又如汞或任何汞化合物进入水中即转化成剧毒的甲基汞化合物。一甲基汞化合物(CH_3Hg)在水和碱性环境中转化成二甲基化合物[$(CH_3)_2Hg$]，二甲基汞化合物容易蒸发而脱水，在这种情况下，汞转移到大气中去。但汞在酸性环境中不形成二甲基化合物，转运到水中就成为一甲基化合物。上述两个例子说明污染物质在空气、水、土壤间是可以转移的。 空气、水、土壤等又是植物生长的必要条件，因而污染物质对植物生长发育的影响也是多途径的。

植物在大气、水体或土壤中吸收各种污染物质，而影响植物生长发育的首先条件是污染物质的浓度和作用时间。另一方面既因不同植物种类、不同的植株及植物的各生长发育阶段而有差异，又受气候因子的制约，这就体现了外因必须通过内因起作用的真理。

以二氧化硫为例，各种植物对二氧化硫的抗性是不同的，据调查，在同一污染源附近，接骨木仍能生长，而栎树却完全枯死。同种植物的不同植株对污染的反应也不同，特别明显的是针叶树。抗性较强的植株，针叶较密，一年中长出的针叶较多，一年生枝条较长，年轮较宽、球果较大。

植物对二氧化硫的吸收还受气候因子所制约，所有影响气孔开闭和促进光合作用的因子，如光照、较高的空气相对湿度和温度都能促进植物吸收二氧化硫。在气候因子中，湿度对植物吸收二氧化硫影响最大。如果空气湿度和土壤湿度都较高，植物对二氧化硫较敏感。

此外，肥料也影响植物对二氧化硫的敏感性，据试验证明，生长在贫瘠土壤上的植物比肥沃土壤上的敏感。肥料用量适当增加，可使双子叶植物，如油菜、菠菜、水萝卜和豌豆等栽培植物抗性增强，其中氮素对植物抗性的增强起决定作用。缺乏矿质营养的土壤施用钾肥和钙肥可以提高植物对二氧化硫的抗性。但是对单子叶植物，如燕麦、大麦则有副作用，增加氮、磷、钾，幼苗反而对二氧化硫更敏感。

植物吸收重金属还受土壤的酸碱度、有机质含量以及各种元素相互之间作用的影响。植物对各种污染物质的吸收积

累或分解，构成了植物对环境污染的净化作用，有时植物对大气、水、土壤污染的反应很敏感，在污染物质浓度较低的情况下已表现出受害症状，这样植物可用来监测环境污染的程度。

以上所述都说明自然界植物与环境有着很密切的关系。但是自然界生物与非生物之间的关系更为复杂，生物同环境构成一个紧密联系、相互制约和影响的有机统一体，这个统一体称为“生态系统”。植物与环境所构成的能量和物质转化、循环只是这个有机统一体的组成部分。在“生态系统”中能量和物质是沿着食物链由一个机体转移到另一个机体，或以物质的形态积蓄起来。改变食物链索中的任何一环，就可能影响全局。许多污染物往往不是直接危害人的健康，而是通过食物链转移、循环和累积过程，危害人体的。例如，一旦汞进入食物链中，它便对其中的所有生物产生影响，首先浮游植物可以直接从水中吸取汞，并将汞转递给浮游动物，而食肉鱼类（如梭鱼）又吃小鱼，从而使汞在逐级转移中被富集，最后，汞通过鱼类进入人体，影响人体健康。又如，磷肥厂排放的含氟废水和废气，直接使工厂附近的土壤、大气和水质受到不同程度的污染。生长在污染环境中的作物，通过叶片从大气中吸入含氟废气，又通过根系从土壤中吸入含氟物质，造成作物的污染，使谷物和牧草都积累大量的氟，这样，氟通过粮食和饲料进入人体和耕牛，影响人体及耕牛的健康。

综上所述，了解环境污染与植物的关系，是关系到农业生产和人民身体健康的大问题，应该引起重视。

二　环境污染对植物的影响

化工、冶金、轻工三大工业部门的生产过程中，每天要排放大量的废气、废水和废渣，如果不及时加以回收处理，加上城市大量的生活污水、垃圾，机动车辆和家庭燃料废气的排出，逐渐累积，就会超过了大气、水系和土壤的自净能力，就会造成污染。

工厂附近的农田由于长期受废气的影响，产量逐年下降，农产品的品质变坏。还可能由于偶然事故有高浓度的毒气排出，在短时间内会把庄稼熏坏。如水稻被熏后，谷粒空秕，谷壳上有褐色斑点；小麦受害后，叶子失绿变黄，麦粒萎瘪；蔬菜受害则使叶片枯黄，大大影响食用价值。有毒废气沉降地面，还会污染土壤，间接地影响作物的品质。作物体内有毒物质的含量增高，人和牲畜食用后，直接危害健康。大气污染对果树、树木生长也有明显影响，特别在果树的开花时期受有毒气体的危害，则花落满地，产量下降，质量变坏，严重的全不结果。由于大气污染，树木成活率降低，生长不良，影响绿化造林。

水的污染常常是由于大量排放的含有各种各样污染物质的工业废水、生活污水以及农业和畜牧场排出的各种污水所造成的。在生活污水，牲畜污水、食品饮料和造纸等工业废水

中含有很多碳水化合物、蛋白质、油脂、木质素等有机物质，这类污染物质排入河流、湖泊，使水域中的藻类等浮游生物大量繁殖。藻类的大量繁殖和死亡、腐败引起水环境中的植物所需的矿质元素含量过高，水域中生化需氧量剧增，溶解氧很快下降，水色混浊，呈黄绿色，悬浮物增加，水质严重恶化致使水中的生物和鱼类由于缺氧而死亡。另一方面由于污水中有机质被微生物分解后，生成甲烷、硫化氢、氨等，使水中产生恶臭。水污染的另一途径是农业上使用大量的化学农药和化肥，撒在土壤以后，有一部分受雨水冲刷，随着地表迳流，排入河道，污染水源。此外，工业废渣、城市垃圾及废气中的有害物质也会经降水淋洗后进入河道。工业废水和生活污水等还可通过农田灌溉进入土壤。长期以来，大量地使用农药、化肥，也是污染土壤的重要途径。这些污染物都可被植物所吸收而残留在植物体内，其中以汞、镉、砷、铅、铬等危害最重，它们在自然界中不易消失，通过各种途径会在人或牲畜体内积累。水的污染在国际上是个严重问题。受污染的河流、湖泊等地面水系，处理不当的人工污水库，灌溉农田的污水，带有大气污染物质的降水，都有可能渗入地下，使地下水源污染。地下水是许多城镇生活供水的主要来源，人们饮用受污染的地下水将会直接危害人体健康。关于地下水污染问题，不能不引起重视。

在农业生产中，农药对防治病虫害、杂草及其他有害生物的危害，增加产量，提高品质，节约劳力等方面都起了很大作用。在资本主义国家由于长期大量使用化学农药，逐渐污染了

土壤、空气和水源，造成农药公害。现在国际上广泛引起重视的农药主要有有机氯、多氯联苯（PCB）、多环芳烃（PAN）等。这些物质化学性质稳定，可在土壤中积累，也可被植物所吸收。其中某些成分通过食物链，在各种生物之间转移、浓缩和积累。在粮食、水果、蔬菜内常常发现农药的残毒，有的食品甚至有农药的气味，影响食品的质量。另一些砷、汞、铅制剂的农药，对人、畜的影响也很大，它一般用于拌种，由于用量不当，会使粮食上有所残留。农药的残毒在人体中长期累积，会直接危害健康。

（一）大气污染对植物的影响

大气中的污染物质种类很多，主要有硫化物、氟化物、氯化物、氮氧化合物、粉尘以及带有各种金属元素的气体。

大气中的污染物质，能否对植物产生危害，是多种因素所决定。首先决定于气体的浓度以及有毒气体影响植物延续的时间。

植物受危害状况可分为三类，即急性危害、慢性危害和不可见危害。急性危害表现在植物的叶子上有伤斑（图 2.1）。严重时叶片逐渐枯萎脱落，造成植物死亡。叶子是植物与周围大气进行气体交换的最活跃部分。有些植物叶子的表面覆盖着一层蜡质的保护层，即角质层，而气体中的污染物质可以通过张开的气孔进入叶子内部（图 2.2），好像植物与大气交换二氧化碳和氧气一样。进入叶组织的污染物过多，就会发生急

性危害。植物受慢性危害的表现是叶片褪绿，从叶子的断面可以看到气体的污染物从气孔进入叶内，被叶脉之间的栅栏细胞所吸收，由于细胞内部的叶绿素受到污染物的伤害，叶片就产生不同程度的褪绿。不可见危害是植物生长发育正常，但生理机能受到影响，产量下降，这种受害现象不易被人们所

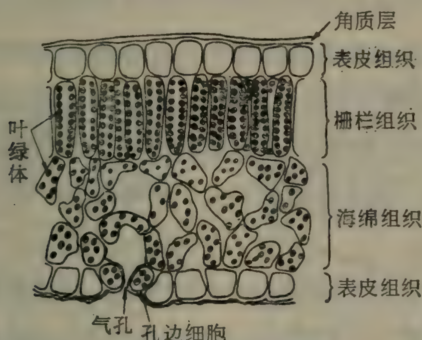


图 2.2　树木叶片的基本构造
污染物通过气孔进入叶片被光合作用能力强的栅栏细胞所吸收而发生危害

觉察，容易被认为是由于其他原因所造成。

大气污染除了对植物的外形和它的生长发育产生直接危害外，还会产生一些间接影响。受污染的植物，由于生长发育较弱，减低了对病虫害的抵御能力，而且某些气体如二氧化硫又能促进叶枯病菌的发展，因此，在大气污染地区病虫害比较严重，常导致树木枯死。大气污染还会加剧农药对植物的药害。例如，受二氧化硫污染的地区，若对 15 年生的温州蜜桔喷洒波尔多液，喷药第三天下雨后，出现大量落叶，没有喷药的蜜桔树上没有看到落叶现象。从果树的健壮程度和喷药时期

来看，是不应该发生药害的。但是由于大气受二氧化硫的污染，雨后，二氧化硫和水使波尔多液中的铜离子游离，并且侵入叶片内，铜和二氧化硫的综合毒害，促使果树落叶。

1. 二氧化硫对植物影响

二氧化硫是各种含硫的燃料油和煤燃烧时的产物之一。发电，钢铁、铜、锌等有色金属冶炼，石油加工、石油化工、化肥和化工等各类工厂的锅炉、家庭取暖设备和各类机动车辆都排放二氧化硫。它是分布面积大、影响范围广的一种有毒气体。

大气中的二氧化硫通过叶片的气孔，很容易被植物所吸收。二氧化硫进入叶组织后，与水发生反应，生成亚硫酸盐的离子，随后慢慢地氧化成为毒性较小的硫酸态 $SO_4^=$ 的硫蓄积在叶片内。硫是组成植物体内氨基酸的成分之一。植物为了本身的生长发育，需要一定数量的硫，需要量大约是其本身干重的 0.1—0.3%，因此，植物叶片所吸收的二氧化硫，一部分为合成氨基酸所利用，其余部分以硫酸根的状态积存在叶内。硫酸根的毒性比亚硫酸根的毒性约低 30 倍。一般在植物体内可积累的硫的限量是正常含量的 5—10 倍。这就说明植物可以吸收和贮存一部分硫。但是由于植物长期受二氧化硫的污染，使植物体内的硫酸根含量过分增多，用于中和酸的盐基类的含量也增加，这样就导致植物体内产生一系列的变化。

高浓度的二氧化硫对植物会产生急性危害。二氧化硫侵

入植物体后，首先从气孔周围的细胞逐渐扩散到海绵组织；再到栅栏组织，破坏细胞的叶绿体。使叶脉之间以及叶的边缘变成白色，使组织脱水，叶组织死亡，叶片焦枯，早期脱落。二氧化硫的浓度较低时，植物受害部分的细胞失去绿色，逐渐变为浅褐色或白色。在显微镜下观察受害叶片，可以看到细胞内的细胞质与细胞壁分离（即质壁分离）或褪色。只有特别严



(1)二氧化硫侵入叶片的栅栏组织，在外表看不到受害症状



(2)栅栏组织和表皮组织均受危害，叶子表面有伤斑



(3)受害的细胞脱水、收缩，叶子表面的伤斑下陷，干枯

图 2.3　二氧化硫对叶片危害的发展阶段

重时，表皮细胞才发生质壁分离(图 2.3)。一般叶的中肋和大的叶脉不受伤害，并保持绿色，叶片其他部分的绿色有的消失。

二氧化硫对植物的伤害除了明显地表现在叶片上以外，有时，则出现一些不可见危害，即植物的正常生理功能受到抑制。例如水稻由于受低浓度的二氧化硫长期影响，分蘖减少，叶片的面积缩小，植物的光合作用强度减低，呼吸作用增强，干物质总量减少，产量降低。红松在受到浓度 0.2ppm 的二氧化硫污染后，植物细胞内水分虽然变化不大，但是非还原糖却减少；当二氧化硫的浓度达到 0.8ppm 以上时，叶片里的水分急剧减少，大约比正常的叶片降低二分之一；当二氧化硫的浓度为 2ppm，叶绿素甲的含量显著减少，叶绿素乙的变化却不大，因而叶绿素甲与叶绿素乙的比值变小；同时总氨基酸的含量减少，蒸腾量增加 1.4—1.9 倍，呼吸作用增加 1.5—2.0 倍。由于生理上的种种变化，致使红松的结实量明显减少，种子的发芽率也降低。

二氧化硫对植物的危害作用是受多种因素所制约的:

（1）气体浓度和污染延续时间

植物受二氧化硫危害的程度与气体的浓度和污染延续的时间成正比。当空气中二氧化硫浓度为 3 毫克/立方米（= 1.66ppm），污染延续的时间为 12 小时，某些植物百分之二的叶面受害。当浓度增加为 12 毫克/立方米（= 6.66ppm），只需 3 小时就可使 77% 的叶面受害。在自然条件下，有害气

体的浓度经常地变动,对植物的影响也是时断时续,在低浓度的二氧化硫影响下,只要叶子没有受到损伤,受抑制的植物光合作用能力可以逐渐恢复。有的国家对植物可以忍受的二氧化硫浓度和延续时间作了如下规定:浓度 3ppm——10 分钟;0.3ppm——10 小时;0.2ppm——4 天;0.1ppm——1 个月;0.01ppm——一年。他们认为在上述的浓度和延续时间内植物不致于受害。但是植物可以忍受的浓度和延续时间并非固定不变的,还受其他条件的影响。

(2) 湿度、气温和光照

大气和土壤的湿度是影响二氧化硫对植物危害的重要因素。当空气干燥时,工厂中排出的二氧化硫很容易扩散,并被稀释。当空气湿度增高时,二氧化硫与大气中的水蒸气结聚成细雾状的小水滴,不利于扩散和稀释。植物在气温高,相对湿度大,土壤湿润的条件下,最容易受害。通常认为对二氧化硫敏感的植物,当二氧化硫达到一定的浓度,大气的相对湿度为 75%以上时,最容易受害。大气相对湿度为 60—75%时,仍有一定抗性。而在大气的相对湿度 50% 以下时,植物抗污染能力显著增强。一般认为具有旱生形态的植物,抗污染能力较强。此外,光和温度也会影响大气污染对植物危害的程度。植物在黑暗处对污染的抵抗能力大于在明亮处。随着气温和光照强度的变化,在一天中植物对二氧化硫的敏感程度也不同。通常植物在午前至中午这段时间由于光照强,气温高,对二氧化硫最敏感。在早晨和日落后气温低和光照弱的条件下,二

氧化硫对植物危害较少。夏季比冬季受害严重。通常植物受害后褪绿现象的发生,必须在光照条件下进行。

(3) 植物的抗气性

不同植物种类对二氧化硫的敏感程度和抵抗能力是有差别的。在某一焦化厂附近,观察 46 种植物对同样浓度的二氧化硫的感应性。在二氧化硫浓度为 4毫克/立方米(= 2.2ppm)的长期影响下,其中有 25 种植物如屈曲花、耧斗菜、凤仙花等在子叶发育阶段或第一片真叶时期就死亡。而另外 19 种植物如臭芙蓉、鱼尾葵、德国鸢尾等的生长也受到强烈抑制,但生长没有停止,经过一些时间,有的能够逐渐地恢复,植物发出新的枝叶,但大多数延长了营养生长阶段,缩短了开花期和盛花、结果时间。而且受污染的植物,花序发育小,花蕾成花的数量少,种子质量差。以上的例子,可说明由于各种植物的抗气性不同,二氧化硫对植物造成的危害程度也就有轻有重。

(4) 植物的生长发育阶段

各种植物在它的各个生长发育阶段,对二氧化硫污染的抵抗能力不同。谷类植物幼苗的嫩叶抗气性最弱,营养生长末期即将开花前以及开花结实期,特别是扬花期容易受二氧化硫的危害。其他生长发育期抗性较强。大豆在开花前和豆荚生长初期,蚕豆在幼苗期对二氧化硫最敏感。蚕豆过了苗期抵抗能力逐渐增加,结实期对二氧化硫又变得敏感起来,这一时期受害,会影响产量。草莓、西红柿和棉花在营养生长转入

开花结果时期,若受到二氧化硫污染,产量则大大降低。根菜类植物如甜菜、胡萝卜、萝卜之类,在根系发育早期对二氧化硫很敏感。萝卜在幼苗期对二氧化硫最敏感。叶子受害面积大,出现白色病斑。但在生长和成熟时期,虽然受到与苗期同样浓度的二氧化硫的污染,叶子受害面积却小,产量未见明显下降。但在根系开始发展时,若叶子受害,会对产量发生很大影响。近年来对土豆、甜菜、油菜、紫花苜蓿的研究证明,由于

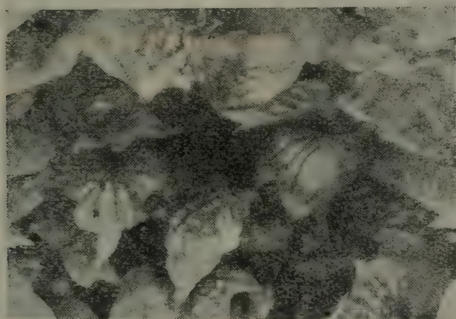


图 2.4　二氧化硫对甘薯的危害症状



图 2.5　二氧化硫对青菜的危害症状
左为受害叶,右为正常叶

受二氧化硫的污染，使这些植物中的糖分和淀粉的含量大大降低，蛋白质含量减少(图 2.4, 2.5)。

不同年龄的树木对二氧化硫污染的反应也不相同。在二氧化硫强度污染下，幼龄的树木常常生长低矮，呈灌木状，叶子受害后，植物制造养分的机能受到阻碍，反过来又使叶子变小，而且影响树木枝条的生长和树干直径的增长。例如生长于离排放二氧化硫的工厂约600米处的红桦，与生长正常的红桦相比，第一年枝条的生长为87%。第二年的生长为31%。成年树木受二氧化硫污染后，新枝减少，若继续受到污染，枝条的生长，叶子数量和面积的大小，都会很快降低。树干分枝逐渐枯萎，顶部明显地变得稀疏(图 2.6)。此外，二氧化硫还影响林木对冻害的抵抗能力，使种子产量减少，发芽率低。果树在其开花结果时期受二氧化硫污染对产量的影响最大(图 2.7, 2.8)。 二氧化硫的污染会使荔枝结实困难，情况严重时，果树整株死亡。 龙眼受污染后，叶片变成焦黑色，嫩芽、嫩枝迅速脱落，即使能够开花，也不能结果，产量显著降低。



图 2.6　云杉受二氧化硫危害后针叶坏死，分枝逐渐枯萎、稀疏

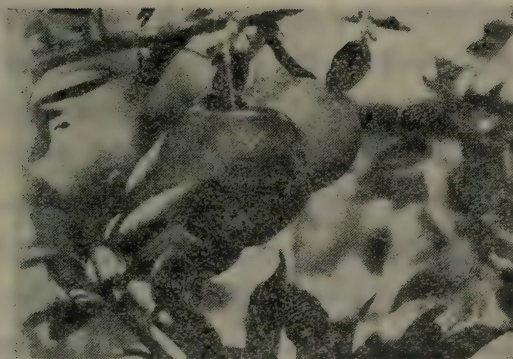


图 2.7　距污染源600米处生长的苹果树受二氧化硫危害状况

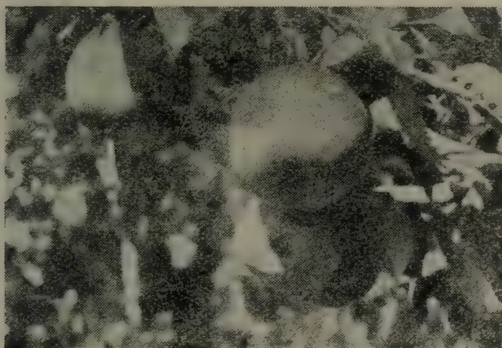


图 2.8　距污染源6000米处生长的苹果，不受污染的正常生长状况

2. 氟化物对植物的影响

氟是地壳中广泛分布的化学元素，是土壤、岩石和矿物中天然组成成分。但在空气中氟化物不是常见的成分，只是在工业生产过程中排放这类气体。氟化物常以氟化氢为主，它

产生于煤的燃烧以及铝厂、砖瓦厂、陶器厂、磷肥厂、玻璃厂、化工厂和有色金属冶炼厂等。在这些工厂中如氧化铝的电解工业是用含氟 54% 的冰晶石作为融剂，这一生产过程中常排出大量氟化氢。制造磷肥使用的原料磷矿石中，含有3—4%的氟，在生产流程中，因添加硫酸而产生氟化氢。在瓷砖、陶器制造厂中的陶土和釉料中也含大量氟，在高温烧制过程中也能放出氟化氢。用萤石（CaF_2）或氟硅化钠（Na_2SiF_6）作原料的玻璃加工厂，在生产中也都放出含氟气体。这是一种值得注意的有害气体，它对植物的危害往往比二氧化硫更为严重。

氟化物常以气态（如氟化氢、四氟化硅、硅氟酸 H_2SiF_6）、气雾或微尘形态存在于大气中。此外还存在有机态的氟化物（如四氟化碳 CF_4）。氟化物对植物的毒性大小，决定于它是否容易被植物组织所吸收。气态的氟化物如氟化氢和四氟化硅对植物的伤害显著。微尘状态的氟化物如氟化钙、冰晶石尘埃，它们主要沉积在叶的表面，只有当这些颗粒状氟化物被叶面上的湿气溶解时，才能造成危害，一般对植物的影响不大，而且容易被雨水所冲走。

工厂所排放的高浓度的氟化物气体往往熏坏附近农田。作物在成熟期被害后，水稻谷粒空秕，谷壳出现棕褐色斑点，小麦麦粒萎秕。竹子受害则叶片变黄、凋落，竹子韧性下降，变脆易断，不能编竹器。有人把大气中足以引起植物出现坏死症状的含氟气体浓度定为 0.01ppm 左右，但据另一些研究证明，极敏感的植物在大气中含氟化物浓度为 0.0001ppm 或 0.1ppb 时也会受到危害。

氟化物气体除可能对植物造成直接伤害外，也可通过降落地面，增加土壤中的含氟量而危害植物。工厂排放的废水中也常含有氟化物，通过污水灌溉进入土壤，被植物的根系所吸收，导致植物地上部分氟的积累。在自然界中，氟是土壤中常见的化学元素，各类土壤的含氟量极不相同。土壤中全氟含量的变化范围大约为 10—1000ppm，也有高达 7000ppm 的。通常是 50—800ppm。一般砂土含氟量最少，粘土含氟量显著增高，氟的含量常与土壤中粘土含量成正比。土层中，一般是下层含氟量较高，因为土壤下层往往存在含氟量较高的矿物，而且由于雨水的淋溶，常把土壤表层的氟带走，因而上层土壤中氟含量降低。

大气中的氟化物对植物的影响具有累积的特点。如气体浓度不变，植物组织内的氟含量随着时间的延长而会逐渐增加。当氟化物在植物体内积累达到一定程度时，就使植物受害。这就充分说明氟化物的危害作用与污染延续的时间有显著关系。低浓度的氟化物长期对植物的污染，也会造成伤害。例如，1ppm 的氟化氢气体，接触柑桔幼叶 8 小时，其落叶率比 8ppm 接触 1 小时的落叶率为高。各种植物受氟化物危害的极限浓度是不同的。对氟化物最敏感的唐菖蒲，在氟化物浓度 10ppb，污染延续时间 20 小时或浓度 1ppb，延续时间 2—3 天左右，就要受到伤害。果树类在氟化物浓度 10ppb，污染延续时间 12 小时或浓度 1ppb，延续时间 1 年也产生伤害(图2.9)。在浓度5ppb的氟化氢气体污染下，持续 7—9 天，可使桃、杏、葡萄等受害。针叶树在氟化氢浓度 10ppb，污染延

续时间15小时或浓度 1ppb，延续时间 100小时即受害。针叶树如松树对氟化氢的抵抗能力较弱，当叶子中氟化物的蓄积浓度达 50—200ppm 时就会受害。西红柿对氟化物的抵抗力较强，在氟化氢浓度 100ppb、污染延续10小时或浓度



图2.10 美人蕉受氟气危害症状叶缘伤斑

10ppb，污染时间10天后才会受害。

氟化物也和硫化物一样，通过植物叶片张开着的气孔进入细胞内，它不损伤气孔附近细胞，而是溶解在叶组织内部的水溶液中，被叶肉吸收，并通过扩散方式或由维管束把氟化物从叶肉转移到其他细胞中。氟化物又随着蒸腾的水分转运到叶的尖端和叶缘，其积累量大大高于叶片的其他部分，当积累量达到一定浓度时，便会干扰酶的作用，阻碍代谢机能，破坏叶绿素和原生质，叶缘和叶尖出现坏死现象，并且逐渐变色，由浅褐色到褐红色。使叶片明显的分出坏死部分和绿色健康部分，这是氟中毒后常见的受害症状(图 2.10, 2.11, 2.12)。

叶子褪绿也是氟化物危害植物的症状。褪绿现象由叶子的边缘向较大的叶脉之间发展。开始时，叶片沿着中肋和较大的叶脉变为浅黄绿色，若继续暴露在含氟气体中，褪绿组织

就完全变为黄色，在褪绿和绿色之间有明显的分界线（图2.13），当伤害更严重时，就出现坏死。



图 2.11　氟化氢对紫荆危害症状，自叶尖、叶缘逐渐向内发展伤斑，右叶：受害重，左叶：受害轻

植物受氟化物危害的另一种表现是在叶片的绿色部分与坏死部分之间形成一条褐色带，这种现象在杏、李、桃等果树上较常见。坏死的部分很容易从叶片上脱离下来，叶片的健



图 2.13　氟化物对杨树的危害叶片呈现褪绿现象

康部分继续生长,因而叶子边缘经常伤痕累累,而且出现一圈浅褐色边缘。当杏树叶片的坏死部分超过整个叶片面积一半时,叶子就很快凋落(图 2.14)。桃树叶片的坏死部分超过1/4时,叶子就脱落。

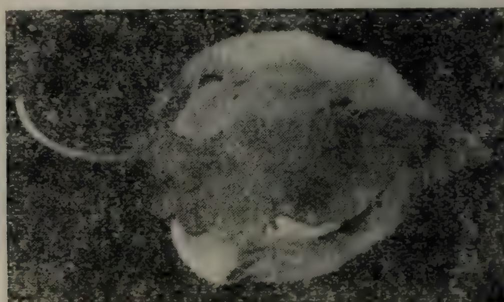


图 2.14 杏树叶受氟化物危害后出现一圈褐色的坏死边缘

氟化物对叶片形状不同的植物,伤害形式是不同的。具有线形叶和剑形叶的单子叶植物,受到氟化物急性危害时,首先是叶尖坏死,若继续受害,坏死的伤痕逐渐扩大到叶子的基部。例如水稻和麦类受害时,先在新叶的尖端和边缘褪色变黄,特别是抽穗前后的叶片和幼穗的顶部最为敏感。具有阔叶的双子叶植物是沿着叶缘受害。在受伤的组织与未受伤的之间有明显的界线。针叶树在春天迅速生长的时候,它的针叶对氟化氢最为敏感。当氟化物在叶内积累时,叶尖开始坏死,并逐渐扩大到叶基。受伤害的组织逐渐褪绿,很快变为红褐色或浅褐色。一年生或一年生以上的针叶不容易受到氟化物的伤害。

氟化物对植物的危害与环境条件有密切的关系。风能携

带和传播氟化物，生长在向风处的植物易于受害。一般地说白天气温越高，日照强烈，植物的代谢作用活跃，气孔充分张开，吸收气体量多，植物受害也更为严重。晚上温度低、光弱则受害较轻。但在气温低、气流停滞的条件下，则植物也容易受害。此外，某些肥料对植物的受害程度也有影响。在受污染地区，如果将少量的稀有元素硼加入常用的氮、磷、钾的混合肥料中，就会出现受氟化氢严重危害的症状。

氟化物除对植物叶片产生明显的危害以外，果实也常受害。桃子在收获前 2 周到 1 个月期间，若受到氟气的污染，果实沿着缝合线一边或两边的果皮及果皮下的果肉变红，被害部分特别容易早熟或过度软化(图 2.15)，常常会萎缩或使沿着缝合线的果肉分离。

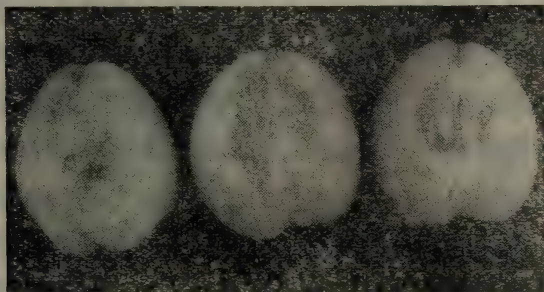


图 2.15 桃子受氟化物危害后出现的软熟现象

3. 光化学烟雾对植物的影响

光化学烟雾含有各种氧化能力极强的物质。它们是由汽

车废气中所排出的氮氧化合物和烯烃类碳氢化合物升到高空后，在日光强烈的紫外线照射下，发生各种光化学反应所形成。臭氧是其主要的成分，占全量的 90%，是光化学烟雾产生危害的首要的污染物，其它的10%是二氧化氮、过氧酰基硝酸盐以及少量的乙醛、硝酸酯及其他复杂化合物。光化学烟雾在国外经常造成严重事故，在我国发生这种现象较少。

光化学烟雾的危害会使柑桔、葡萄等果树叶子内叶绿素含量减少，光合作用强度减弱，叶面积和葡萄藤的鲜重和干重降低，出现大量落叶和落果的现象，使果树产量降低。但在叶子和果实上没有肉眼可见的症状。

(1) 臭氧

臭氧是光化学过程中所产生的空气污染物。不同植物种类对臭氧的敏感程度有差异。当大气中臭氧的浓度为 10 pphm①，污染延续 2 或 3 小时，最敏感植物就出现急性受害。当臭氧浓度高达 40—50pphm，延续 2—4 小时，就会引起植物叶片普遍褪绿。在人工进行的熏蒸试验中，臭氧的浓度5—12pphm，污染延续 2—4 小时，就可危害一些最敏感的植物。有的烟草在臭氧浓度低达 5pphm，延续时间 4 小时，就可产生伤害。美洲五针松在臭氧浓度 7pphm，延续 4 小时就受害。苜蓿、菠菜、三叶草、燕麦、萝卜、玉米和蚕豆，当臭氧浓度为10—12 pphm，2 小时后就受伤害。在大气中有二氧化硫存在的情

① 1pphm 为亿分之一

况下，臭氧的浓度低达3pphm，一些敏感的烟草，也会受害，这显然是由于臭氧与二氧化硫相互作用的结果。有些植物如卫矛、桧柏和紫杉对臭氧抵抗力较强，但浓度达 100pphm 时，也会受害。

植物对臭氧的感应性受到很多环境因子的影响。空气湿度低，植物的气孔关闭。关闭的气孔可以保护植物，甚至是敏感的种类也免受伤害。臭氧本身可以引起植物叶片的气孔关闭，减少臭氧进入叶片的数量，增强植物对臭氧的抗性。光照、相对湿度、温度、植物所需的营养成分以及植物所处的生长发育阶段也影响植物对臭氧污染的敏感程度。由于这些原因，同样浓度的臭氧在一定时间或地点内，某种植物很少或不受害，而在另一段时间或地区内，同种植物严重受害。即使没有出现肉眼看得见的危害症状，生长也可能受到抑制。这是因为臭氧会使植物对二氧化碳的同化作用降低。通常生长在被臭氧污染条件下的烟草，各种禾草、蚕豆、土豆、观赏植物和一些乔木等，一般地比在未受污染条件下生长的同类植物矮小，较弱。

植物受臭氧危害的可见症状有以下 4 种，但通常只出现一种，偶然在同一地区的不同植物，甚至在一种植物的同一张叶片上同时出现 2 种或 3 种症状。臭氧对植物叶片色素的危害是很多落叶树和灌木以及有些草本植物最普通的症状。植物叶片的栅栏细胞最易受害，受害细胞的胞壁局部变厚，植物色素发生变化，形成新的色素，而且扩散到周围组织和叶脉，受害部分出现明显的界线，呈小斑点状，颜色有红棕色、紫

色、紫红色或褐色。受害严重时，表皮细胞被破坏(图 2.16)。

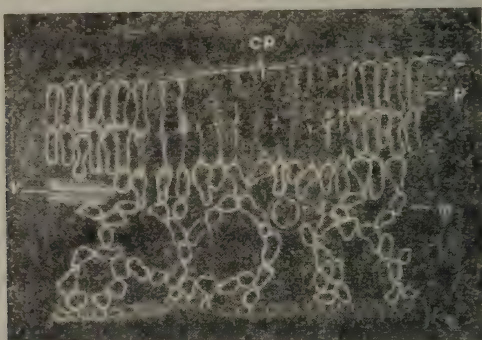


图 2.16　臭氧对菠菜的危害

菠菜叶的构造 cp. 破坏的栅栏组织，其上为被破坏的表皮组织　d. 结晶体　e. 正常的表皮组织　p. 正常的栅栏组织　m. 海绵叶肉组织　v. 维管束

植物受臭氧危害的第二类症状是叶片的表面变白或出现没有颜色的坏死小斑点。这是绝大多数草本植物和很多木本植物常见的症状。叶片的栅栏细胞受臭氧危害比较严重时，叶面细胞受损害后，就变为白色。当叶片表面大面积坏死时，坏死现象就扩散到叶的背面(图 2.17)。谷类和禾本科植物由于叶片没有栅栏组织，因此叶面和叶背都可能受害，有时，西红柿的叶片背面也会变白。

植物受臭氧危害的第三类症状是叶子两面坏死，这是在叶子整个组织都为臭氧伤害后发生的。坏死组织由于植物种类不同，呈现的颜色也不一，有白色及桔红色等。叶表面和背面都呈薄纸状，小叶脉与其他部分一起枯死，而大叶脉还能残存(图 2.18)。

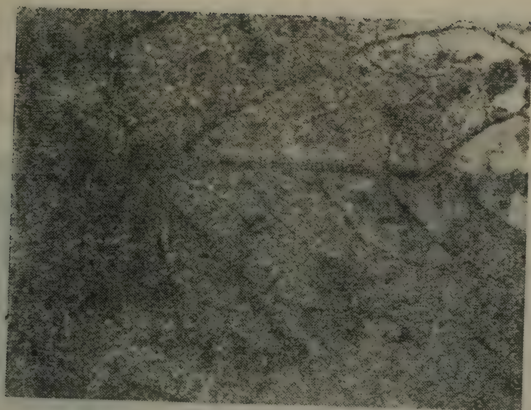


图 2.17　臭氧对鸡蛋花叶片的危害症状

臭氧的伤害还会使植物产生褪绿症状。最初的危害仅限于叶子表面小群的栅栏细胞上，直径约 1 毫米，有的呈黄色斑点，叶绿素数量减少。在没有栅栏细胞的禾本科植物叶子的

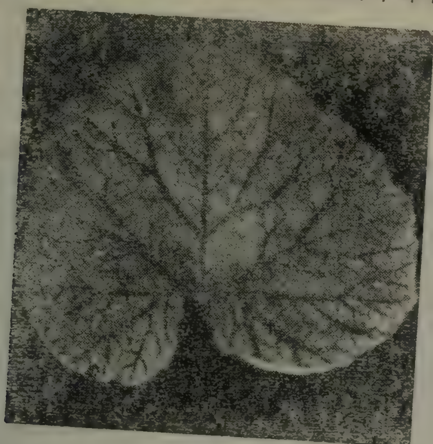


图 2.18　西葫芦受臭氧危害出现两面坏死的漂白现象，大的叶脉即使受严重伤害，仍保持绿色

任何一面都可能出现显著的褪绿带。

各种植物受臭氧的危害呈现不同的症状。谷类作物和饲草在受臭氧危害后,叶片的大叶脉间出现褪绿现象,或有白色至黄褐色的坏死条斑。随着植物受害程度加剧，叶片的表面和背面都出现受害症状,遍及整个叶子时,两面均坏死。臭氧对落叶树和灌木的危害,主要表现在叶的表面,即小叶脉间出现大大小小的斑点。随着受害程度的增加，斑点由稀疏变为密集。颜色有浅褐色、红褐、暗褐、黑、紫、灰、白和浅绿等;由于叶子受害变色,叶弯曲,叶缘和叶尖干枯而脱落。臭氧可引起各种敏感的松树针叶叶尖出现褪绿斑点,受害严重时,当年生针叶严重烧伤,形成桔红色病痕。

(2) 氮氧化合物

氧化氮和二氧化氮是氮氧化合物污染物中的两类主要气体,是参于光化学反应的重要成分。它们是由于动力设备、内燃机车、煤油、天然气和汽油高温燃烧所产生。大气中二氧化氮的浓度一般不高。只有偶而,才有高浓度二氧化氮出现,时间较短,但也会使植物坏死或大量落叶。

二氧化氮能溶于水，当它从植物叶的气孔进入细胞间空隙时,很容易被吸收。气体浓度愈高,吸收愈快。在高浓度的二氧化氮影响下，植物产生急性危害。最初是在叶的表面叶脉之间出现不规则的水渍状伤害。然后很快使细胞破裂，逐渐扩展到整个叶片，产生小的不规则的坏死斑点（图 2.19, 2.20）。坏死部分的颜色变为白色至黄褐色或褐色,与二氧化

硫造成的危害症状很相似。高浓度的二氧化氮还会对果树发生不良影响，它使柑桔落叶和落果过多，而无明显的褪绿或坏死伤痕。



图 2.19　二氧化氮对甜瓜叶的伤害，污染 48 小时后，出现褐色的坏死症状

植物长期在低浓度二氧化氮的影响下，不产生急性危害，然而生长显然受到抑制，例如蚕豆和西红柿在二氧化氮浓度

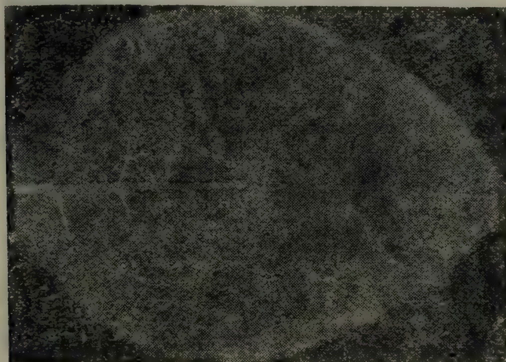


图 2.20　二氧化氮对烟草危害症状

0.5ppm 的污染下，持续 10—22 天，没有出现坏死现象，但是植物的鲜重和干重降低25%。

各种植物对二氧化氮的敏感程度变化很大。一定浓度的二氧化氮对某种植物的危害程度，受环境条件的影响很大。光照强度是影响二氧化氮污染植物的重要因子。在光照弱或黑暗条件下，叶子对二氧化氮的敏感性增加。当大气中存在同样浓度的二氧化氮时，晴朗天气对植物所造成的危害程度仅为阴天所造成危害的一半。这是因为在强光条件下，植物中需要光的酶的反应，使叶子吸收二氧化氮后所产生的亚硝酸盐还原为氨，被植物所利用。但是在光照弱的条件下，需要光的酶的反应受到抑制，亚硝酸盐的积累达到有害的程度，就会产生危害。因此在不同光照条件下，植物对一定浓度的二氧化氮的反应不同。敏感的种类如蚕豆、西红柿和瓜类，在光照条件很弱的情况下，二氧化氮浓度 2.5—3.0ppm，污染延续时间 2—3 小时，就有可能受害。而同种植物在强光下，二氧化氮浓度要 6ppm，延续时间 2 小时，才可能发生危害。另一些植物如石楠对二氧化氮抗性很强，它的叶子和花在浓度 1000 ppm 污染下，延续 1 小时，也不受危害。

在野外，二氧化氮对植物造成的伤害，与二氧化硫、氯和氯化氢对植物的危害症状极为相似。

（3）过氧酰基硝酸盐

这是光化学过程中所产生的剧毒成分。产生过氧酰基硝酸盐的光化学反应决定于光照强度。当地面风速小，光化学

反应所产生的反应物的浓度就增加。午后，各种氧化力极强物质的浓度达到最高峰，黄昏，这个高峰迅速下降。晚上过氧酰基硝酸盐的浓度很低，一直延续到第二天清早。因此植物在晚上不易受到过氧酰基硝酸盐的危害，而在正午，即使是低浓度的过氧酰基硝酸盐也会对植物产生伤害。灌木和乔木很难发现由于过氧酰基硝酸盐所造成的急性危害。但是很多肉质的观赏植物、禾本科植物、蔬菜和杂草，当过氧酰基硝酸盐浓度仅 10—20 ppb，2 小时后就产生严重伤害。

植物受过氧酰基硝酸盐危害的症状表现为叶子背面气室周围海绵细胞或下表皮细胞原生质被破坏，形成了大的气囊，变为半透明状或白色，叶子背面逐渐变成银灰色或古铜色(图 2.21)，叶子表面却没有受害症状。若叶子表面继续生长，叶



图 2.21　过氧酰基硝酸盐对菜豆叶的危害，左叶为正常叶，右叶为受害叶，叶背面变成半透明银灰色

背就成凹形、变皱、扭曲。敏感的植物在有害浓度的过氧酰基硝酸盐的污染下，延续2—3小时，叶子就开始出现轻微的油状或蜡质，逐渐变为半透明。一般情况下，过氧酰基硝酸盐对植

物危害的症状是逐渐发展起来的。受害症状充分发展需要24—72小时，若过氧酰基硝酸盐的浓度特别高，则叶子两面都坏死，开始表现为水渍状，干后变白或成浅褐色的坏死带，横向通过叶片。

过氧酰基硝酸盐对谷类作物的伤害，常常表现在叶片表面出现一条坏死带。根据植物体的大小、气体浓度和污染延续时间，在叶片上所出现的坏死带宽度可以几毫米至几厘米。如高大的玉米，在连续几小时受害后，就会形成一条宽的坏死病痕。在一段时间内，叶脉还是活的，叶尖保持绿色。烟草和西红柿受过氧酰基硝酸盐的污染后，叶子背面和近叶轴处，甚至叶的表面都会出现半透明的和古铜色的受害症状。

各种植物对过氧酰基硝酸盐的敏感程度变化很大。最敏感的如西红柿和矮小的禾本科草本，当污染空气中含过氧酰基硝酸盐的浓度为15—20ppb，延续4小时，就会受害。具有抗性的植物如玉米、秋海棠和棉花，当过氧酰基硝酸盐浓度为75—100ppb，延续2小时，通常不受危害。植物的年龄也影响它们对过氧酰基硝酸盐的抵抗能力，幼小的、处于生长迅速阶段的植物比同一种类较老的植物对过氧酰基硝酸盐敏感。刚具有3—4片真叶的幼小西红柿比具有6或8片叶的植株更为敏感。

4. 氯气和氯化氢（盐酸雾）

氯气和盐酸雾仅发生在局部地区，其分布及污染范围远

不如二氧化硫和氟化物气体。在偶然排放的氯气和氯化氢达到很高浓度时，才对各种植物造成急性危害。氯气的影响范围，约距污染源1.6公里的区域内，氯化氢影响范围约0.8公里左右。

自然界中的氯在土壤和植物体内普遍存在，它是植物生活中重要的微量元素。土壤中的氯化物可溶性大。农田中氯的来源很多，各种化肥、动物粪便、植物残体中都含有氯。植物体内的氯含量变化很大，一般茎内的含量大于叶和穗。

大气中的氯气和氯化氢只有在高浓度下才会对植物造成危害。引起植物受害的氯气的极限浓度变化很大。某些试验证明，植物在浓度0.46—2.95ppm 的氯气污染下，延续20—280分钟，较老的叶片首先出现受害症状。若浓度较高，植物的茎也会受害。紫花苜蓿和萝卜叶在浓度 0.1ppm 氯气的人工熏蒸下2小时后就受害。土壤湿度低可减轻植物受害程度，一般地说，干旱的条件会使植物对氯气污染的抵抗能力增强。

氯和氯化氢对各种植物产生的急性症状，最典型的是在叶脉之间产生不规则的白色或浅褐色的坏死斑点。有的植物坏死的现象出现在叶子边缘。氯和氯化氢对草本植物所造成的白色坏死斑痕与臭氧和二氧化硫所造成的伤害非常相似。大麦、萝卜、菠菜、大白菜和榆树的叶子在受氯气的污染后变白，后又变为一片黄色，但无明显的轮廓(图2.22)。植物的叶脉也被漂白得与叶脉间的网状组织一样，但没有坏死斑点。有的植物叶表面皱缩变干如人面、刺桐、白背叶等。莴苣受不同浓度氯气伤害后，表现症状不一。浓度较高时，外层叶的叶缘

坏死，并向叶的中央和基部发展。若浓度较低，叶面上仅散布些褐色斑点。污染更轻时，莴苣外层叶的背面变为有光泽的灰白色或古铜色。

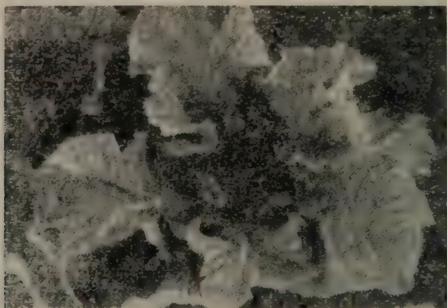


图 2.22　氯气对大白菜(黄芽菜)急性危害，叶片褪色漂白

氯化氢对植物的污染，会使植物叶片的背面变为半透明状，这种特征与过氧酰基硝酸盐造成的危害症状一致。生长在 5—20ppm 氯化氢气体污染下的荚蒾和落叶松幼苗，不到两天就枯死。它们还会使落叶树的叶片漂白，并使叶缘坏死。西红柿在 5ppm 氯化氢气体污染下，延续 2 小时，叶脉之间变成古铜色，72 小时出现坏死现象。

氯气的危害也表现在果树的产量上。生长在离冶炼厂300米的苹果树，因受氯气的危害而不结实，而距厂 2000 米的另一块田间，同年栽的苹果每株可结数十斤，与受害苹果间栽的桃树，其产量比正常桃树也减产一半(图 2.23，2.24)。

（二） 水质和土壤污染对植物的影响

本书第一章中已指出，阳光、水、空气和矿物元素等都是生命发生和发展的必要条件。水是生态系统中非生物方面的重要组成成分。没有水大部分的低等和高等动、植物都不能生存，人类就不能维持生命，因此，保持清洁的水源对人类的生活是件极为重要的大事。

天然水体主要是大气降水，它一部分流入江、河、湖泊，一部分则进入土壤或下渗进入地下水，为人类和各种生物所利用。近年来由于工农业生产的飞速发展，含有各种污染物质的工业废水和生活污水，不加以处理即排入水系，致使某些水体受到不同程度的污染。在这些污水中含有各种无机的和有机的化合物，主要的有各种重金属元素、盐类、洗涤剂，酚类化合物、氰化物、有机酸、含氮物质、脂肪、漂白粉、染料、颜料等等。这些污染物质流入江、河、湖、泊后，使水的物理和化学性质发生变化，危害水生生物资源；渔业生产也受到严重影响。

随着我国农业的发展，农田灌溉的需水量日益增加，为了充分利用水源，自 1953 年以来，各省市积极开展利用污水灌田。实践证明，污水灌溉对农作物既有利也有害，我们必须用一分为二的观点，充分利用其有利方面，防止其不利之处，使污水灌溉在农业生产中发挥良好的作用。污水对农作物的影响因污水的类别、各种污染物质的浓度、土壤性质、作物种类、品种及作物的生长发育阶段等因素而有不同。如沈抚灌区的

贫下中农就总结出“五看一晒”的灌溉措施，也就是看苗灌水、看地灌水、看水灌田、看天灌水、看种灌水和适时晒田的经验。这一经验说明，利用污水灌田，必须注意污水的水质，土壤的肥力，气候和作物品种等因素，合理利用，以夺丰产。

各地的经验证明，合理地进行污水灌溉可以提高土壤肥力，增加作物产量。据石家庄市对污水的初步化验，每吨污水中含氮量相当于 0.45—0.76 斤硫酸铵，每亩地浇一次污水(40吨)，相当于施硫酸铵 18—30 斤。一般污水约含磷 4—9ppm，钾 10—20ppm，氮 15—35ppm，其中 30—50% 为氨态氮或有效磷可为植物所利用。此外污水灌田后，降低污水中的生化需氧量与化学耗氧量，增加水中的溶解氧，对污水中的悬浮物的净化率可达 85—95%，而且很多物质可被土壤颗粒吸附，有机物通过曝气及微生物的分解作用，增加了土壤的肥力，一些营养元素和微量元素被作物吸收利用，使污水得到进一步净化。因此，污水灌田既可以充分利用污水中的肥料，又可减少江河等水系的污染。

污水灌田必须在工业废水经过回收处理的基础上进行。未经处理的工业废水，由于水中所含的污染物质浓度过高，对农作物会直接产生危害，或者间接地改变了土壤的物理、化学性质，影响土壤微生物的活动，妨碍作物的正常发育。因此，无论是有机的或无机的污染物质，如果其浓度超过一定的限度，都可对农作物和土壤造成不良影响。如污水中的生化需氧量和化学耗氧量过高都会危害农作物。氮素过多，流入水田后，常引起水稻徒长，阻碍水稻生根和根的生长，造成秧苗

倒伏、漂流和腐烂。污水中的无机盐类含量过高,会使土壤板结。酸性或碱性物质进入农田，能使土壤盐碱化或变酸。过多的固体悬浮物沉积在农田进水口，不但影响水的流速、流量,妨碍灌溉且改变农田的正常渗透压,间接地危害作物。特别值得注意的是污水中的各种金属元素,如铬、汞、铅、铜、锌、钴、铝、钼、镍、钡、锡等。这些元素在污水中含量过高时,都会对植物造成危害。即使是含重金属盐类浓度较低的污水进入农田后,大部分积累在土壤中，达到一定程度时，也会对植物产生危害。这些有害的重金属能与植物细胞原生质中的蛋白质结合,使细胞死亡。少量的元素也可能置换酶蛋白中的铁、锰等,使酶的活性受到抑制,阻碍植物的代谢作用。

总之,对污水灌溉既要利用其有利的一面,又要注意净化水质,避免对土壤、植物的污染,以保证作物的产量和质量。特别要防止灌渠及农田中的污水下渗，以免造成对地下水源的污染。为了把处理与利用、除害与兴利更好地统一起来,必须认真分析研究污水灌溉对植物、土壤和地下水等可能引起的不良影响,采取积极措施,予以防止。

1. 酚类化合物对植物的影响

酚类化合物是苯的羟基衍生物,常存在于炼焦、石油、化工、煤气等工业排放的废水中。这种废水中所含的酚是一元、二元以至多元酚的混合体。

在自然界中也存在着种类繁多的酚类化合物，植物具有

合成和积累酚类化合物的能力。土壤中存在的植物残体，植物根系分泌物，微生物和动物的代谢产物及其尸体都是土壤中酚类化合物的自然来源。酚类化合物是土壤腐殖质的重要组成成分。因此，在自然界中未受污染的土壤和植物体内都含有一定数量的酚类化合物。

目前我国对含酚废水大多进行了回收处理，处理后的废水酚含量一般不高，很多地区利用含酚废水进行农田灌溉。低浓度的含酚废水灌溉农田，对作物和蔬菜的生长未见危害。若用石油化工厂的含酚混合废水灌溉的小麦、水稻、玉米，均能促进植株健壮生长，长势旺盛，叶色浓绿，产量高。只有含酚浓度过高的废水，才使作物生长受到影响，特别在农作物的发芽和幼苗时期更易受害。同一种酚类化合物由于浓度不同，对植物可产生刺激或抑制作用。用浓度 0.5 和 50ppm 的苯酚灌溉土培的水稻，都有不同程度的促进作用，水稻植株生长较高，稻谷千粒重增加，而用浓度 500ppm 苯酚灌溉，对水稻却产生抑制作用，植株生长高度下降，秕谷率增加。

水培①的水稻，由于排除了土壤微生物对酚类化合物的分解代谢作用，用浓度 100ppm 的苯酚灌溉后，生长就受到抑制，植株生长低矮，叶片出现轻度枯黄色。浓度 250—500ppm 处理的水稻，生长则受到严重抑制，茎部叶片呈枯黄色，进而失水，叶缘内卷，并由叶片上下两端向中央延伸，少数叶片主脉两侧有不明显的褐色条斑，根部变为褐色，逐渐死亡，腐烂

---

① 水培：植物种植在由各种营养元素配制而成的培养液中，不用土壤。

(图 2.25)。



图 2.25 用不同浓度的苯酚灌溉的水培水稻生长状况比较

I_1 0.5ppm I_2 50ppm I_3 100ppm I_4 250ppm I_5 500ppm 对照 清水

蔬菜对酚的反应比粮食作物较为敏感，如黄瓜生长的适宜浓度为 50ppm 以下;酚的浓度从 100ppm 开始就对黄瓜生长有抑制作用; 200ppm 开始为黄瓜生长的危害浓度。

为什么浓度较低的苯酚对植物有促进生长的作用，而浓度较高的苯酚对植物生长却有抑制作用呢? 这是因为当酚进入植物以后，很少以游离状态存在，大多和其他化学物质,形成复杂的化合物,它们能促进植物根系的形成和生长,加速生长点的分化,提高植物细胞膜的渗透性,因而对作物生长有促进作用;而高浓度的苯酚，破坏了细胞的渗透性，会使植物变色变形,抑制了植物生长。

灌溉含酚的污水后,它会不会残留积累在作物和土壤中,残留的酚对作物蔬菜的产量和质量、土壤的结构等有无影响,

是十分重要的问题。

工厂排放的含酚废水经处理后，一般含酚量都较低，大多在 0.5—1.0ppm 以下。污灌后作物和蔬菜的含酚量与清水灌溉同类作物进行比较差别不大。污灌略高于清灌。若废水不经处理进行灌溉，则作物和蔬菜(黄瓜、西红柿)的果实中含酚量增高，如污灌后的黄瓜，其含酚量可超过清灌黄瓜的一倍或一倍以上。作物体内的含酚量以茎、叶较高，种子中最低。作物处在不同生长发育阶段时，根、茎、叶中的含酚量也有变化，通常成熟期最高，花期与成熟期相似或稍低，营养期较低。

各种植物对酚类化合物的吸收和积累能力也有不同，如用同样浓度的含酚废水灌溉小麦、玉米和水稻，种子的含酚量以小麦最低，糙米稍高，玉米最高。而且作物体内的含酚量随着含酚废水的浓度和灌溉次数增加而增高。特别是用浓度 50ppm 以上的酚水灌溉的作物，体内的含酚量显著增加。通常蔬菜的生长需水量较大，含酚废水灌溉后对它的品质和产量的影响也较明显，特别是经过多次污灌后，如黄瓜，若污灌10次以上，就有汽油味或异味。

由于植物既具有吸收和积累酚类化合物的能力，又能对酚类化合物进行代谢分解。因此，为了减少酚类化合物在作物中的残留量，必须掌握收获与灌溉的间隔时间。通常作物收获，蔬菜采收时期离污灌期愈远，植物中的酚类化合物的含量愈少。如用含酚废水灌溉莴苣，污灌前植物体内游离酚含量为 0.10ppm，灌后 24 小时，植物的含酚量为0.21ppm，比污灌前提高了二倍，污灌后 7 天，含酚量又明显下降为0.03ppm。为

了避免采收期间酚类化合物在作物可食部分积累过多，收获前应尽可能不浇污水和少浇污水。

2. 氰化物对植物的影响

在炼焦、电镀、选矿、金属冶炼、石油化工等多种工业废水中，常含有大量的氰化物。这些氰化物大多是有毒的。尤其是氢氰酸及其简单的盐类(如钠、钾、铵等)，溶解度很大，毒性很强。高浓度的含氰废水对植物的生长发育，同样也是有害的。但是，利用低浓度的含氰废水灌溉农田，在土壤、作物中是否会有积累、土壤和作物生长会不会受影响和毒害？已引起各方面的研究。

自然环境中的氰化物种类很多，存在的形式也非常复杂。一般可分为无机氰和有机氰两大类。有机氰又有脂键氰和苦族氰。无机氰又有简单氰和比较复杂的复盐或络合物（即复杂氰)。不同形式的氰化物之间可以互相转化。氰的络合物也可以在一定条件下分解出氢氰酸，氢氰酸也可以与金属离子结合成络合物。氢氰酸是毒性较强的氰化物。

土壤中氰化物含量很低，只有在施用含氰农药和利用含氰废水进行污灌的土壤，氰化物的含量才显著增加，有的可达1ppm 以上。

氰化物浓度的大小，对植物的生长有不同影响，用浓度1ppm 的氰化物灌溉土培水稻，对生长有刺激作用，通常在浓度20—30ppm 以下，水稻、油菜的生长没有出现受害症状，50

ppm 对水稻、小麦、油菜的植株高度、产量有所影响，浓度高至100—200ppm 时，使水稻分蘖受到抑制，叶鞘部分有紫褐色斑条。

如果把水稻直接栽在培养液中，排除了土壤对氰的吸附和土壤微生物的分解作用，观察水稻对氰化物的直接反应，可以看到，浓度 1ppm 氰处理的水稻，植株生长茁壮。但用浓度10—15ppm 处理的植株，生长低矮，分蘖也受到抑制，部分叶片的尖端有褐色斑纹，根系短而稀少。浓度 20ppm 氰处理的水稻，灌溉后第二天就严重受害，植株叶子内卷成线形，当连续灌溉几次后，三分之二的植株干枯而死，残存的植株矮小，枯叶很多，生长极端不良(图 2.26)。



对照　II_1　II_2　II_3　II_4

图 2.26　用不同浓度的氰化钠灌溉水培水稻的生长状况的比较

II_1 1ppm　II_2 10ppm　II_3 15ppm　II_4 20ppm

对照 清水灌溉

氰化物在植物体内的积累随污水浓度增加而增大，但积累量与污水浓度并不成正比例，一般积累量并不高。在植物

的不同器官中以根部积累较多，茎叶次之，种子最少；不同生长发育期植物氰化物的含量也有差异。

含氰污水的灌溉应在生长前期进行，如在分蘖期灌溉，氰多集中于叶子中，在籽粒中积累的可能性小，若在灌浆期灌溉，氰以自由态进入植物体之后，直接转移到生长最旺盛部分或籽粒内的可能性较大，并在那里部分地形成各种衍生物而被贮存起来。因此在生产上利用含氰污水灌溉水稻、小麦宜在生长前期进行。

3. 石油类对植物的影响

石油是非常复杂的混合物，随着我国石油工业的发展，石油化工废水的净化和利用已成为重要问题。目前比较普遍地利用炼油废水灌溉农田。

石油中含有各种挥发性和可溶性的有机化合物。有许多能被植物吸收积累。油类还可直接附着在作物的植株上，或渗透到植物体内而造成危害。在稻田中，含油废水复盖水面，妨碍氧气的供给，同时使地温和水温上升，促进了土壤的还原作用，产生硫化氢，使土壤的物理性质恶化，间接危害作物。油对植物的危害程度因种类、浓度和植物的生长阶段而异。一般认为轻油类对植物的危害比重油类（如润滑油）为大。植物受油类危害后，植株矮小，分蘖减少，影响产量。严重受害时，则黄化枯死。

某些灌区利用石油废水灌溉水稻，浓度控制在 10ppm 以

下，可获较高的产量。浓度在30ppm 以下，一般不影响水稻的生长和产量。但在土壤中有油的积累，污灌年代愈长，积累愈多，并可随地面水下渗到地下水。因此一般含油量大的废水最好不要用于灌溉。

在石油废水中还存在着一种致癌性强的多环芳香烃，即3,4-苯并芘。存在于土壤中的3,4-苯并芘可被植物吸收而蓄积于植物体内。生长在含有3,4-苯并芘150 微克/公斤(干土)上的紫菀和金莲花，植株内这类化合物的含量比未污染的植物高出6倍多。当植物枯死后，3,4-苯并芘又可以回到土壤中。在自然土壤中普遍存在这类有机化合物。作物和蔬菜亦含有此类成分，元白菜、西红柿、菠菜、莴苣等的含量0.2—24.5ppb，小麦、大麦等含量 0.2—4.1ppb。水稻含量 1.28—1.40ppb。随着环境中3,4-苯并芘浓度增加，植物体内的含量亦增高，因此必须控制石油废水灌溉浓度最好在5ppm 以下，以防止这类有机物在植物体内过多累积，造成对人体健康的威胁。

4. 三氯乙醛对植物的影响

在生产敌百虫、敌敌畏、滴滴涕的农药厂以及化工、医药等工厂的废水中，经常有三氯乙醛。三氯乙醛又称水合氯醛，是无色透明物质，有芳香刺激味。

三氯乙醛比其他有机污染物对作物的毒性为大，在农业生产中，含三氯乙醛废水灌溉农田常常使作物产生急性中毒，

致使几千亩，甚至万亩农田减产。

作物对三氯乙醛毒害的忍受能力因作物种类不同而异。一般来说，单子叶植物比双子叶植物对三氯乙醛的抗性弱。小麦比水稻、玉米的忍受能力差，同样污灌条件下，后两种作物危害不明显，而小麦十分显著。受害的小麦种子萌发时，心叶(第一片叶)的外壁，形成一坚固的叶鞘、鞘的尖端与心叶之间形成长约1厘米左右的白色空间，它阻碍着心叶的吐出和扩展，使种子不能出苗。苗期、生长期受害，小麦的叶色深绿、分蘖增多，茎基部膨大，变粗发硬。植株丛生，新叶卷皱弯曲，次生根短粗或不产生新根，受害严重时主茎死亡以至全株枯死。在孕穗、抽穗期受害，穗子被旗叶紧紧包住，成为畸形，或不易抽穗。

小麦在其生长发育的各个阶段对三氯乙醛危害的的敏感程度不同。以苗期、分蘖至起身期最为敏感，拔节以后其抗性显著提高。在农田污灌中，污水往往用于浇小麦分蘖水或冻水，而使小麦受害，但不出现可见症状，这是由于气温低，植株生长停滞，地上部分逐渐枯死而越冬，只有到了第二年春天，气温升高，小麦返青，植株生长迅速，危害症状才明显出现。

三氯乙醛能否对作物产生危害，关键在于灌溉浓度。在大田中用浓度 1ppm 的含三氯乙醛污水灌溉小麦，小麦生长发育正常。浓度达 5ppm 对种子萌发，幼苗生长和产量均有一定影响，高于 5ppm 则造成大幅度减产。三氯乙醛对小麦危害与灌溉量大小也有关系，同样浓度下，灌水量大，受害程度就重，灌水量小，受害就轻。

三氯乙醛通过灌溉进入土壤，可在土壤中残留，被作物吸收而产生毒害。但土壤本身对三氯乙醛有很强的净化能力，其净化速度与土壤酸碱度、通气性、微生物活动和气温等因素有关。若由于三氯乙醛污灌而引起作物受害，应立即采用灌清水，中耕松土等措施，让阳光曝晒，提高地温，加速三氯乙醛的分解和挥发，减少它们在土壤中残留，并结合灌清水增施速效性的氮肥，促进小麦生长，增加抗性。

5. 汞对植物的影响

汞是构成地壳的元素之一，它呈元素状态时是一种银色的液体金属，其比重为水的 13.5倍，是在常温下唯一以液态存在的金属。

工业生产中使用汞的范围很广，如氯和苛性纳的氯碱制造工业、塑料工业、炸药、农药、制浆造纸工业都是汞的污染来源。汞不仅能以各种形式和状态进入大气和水体，而且进入大气的汞能随着大气环流而影响全球，受汞污染的水体通过食物链而进入人体，造成极其严重的后果。日本发生的“水俣病事件”，就是由于聚氯乙烯工厂排出含有大量汞盐和少量甲基汞的废水，污染了水体，人和动物饮用含汞的水和食物引起水俣病。许多资本主义国家如日本、瑞典、加拿大、美国等汞已严重地污染了水体。随着我国工农业的发展，个别地区也出现汞污染，如有的地区使用汞制剂的农药作杀虫剂和拌种，有的利用施过有机汞农药的稻草培养蘑菇，使蘑菇中的含汞量

超过允许标准，这些问题已得到有关方面的重视，正在积极进行防治。

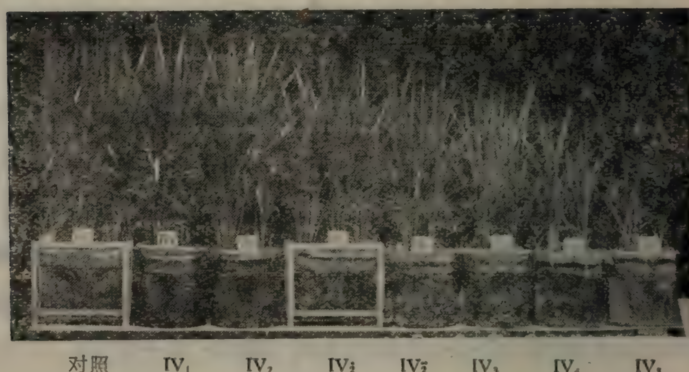
汞的化合物主要分为无机汞化合物和有机汞化合物。无机汞化合物包括离子结合的亚汞化合物和汞盐，如氯化亚汞和氯化汞。有机汞化合物一般是汞与碳原子结合的化合物，如次甲基汞、醋酸苯汞等。汞在水中的本底值一般不超过0.1 ppb，但含汞废水以及工业的汞源和农业中汞制剂的应用，常造成对水体和土壤的污染。

通常有机汞和无机汞化合物引起的植物汞中毒，不易与金属汞蒸气的危害区别开来。植物受汞蒸气毒害的症状是叶子、茎、花瓣、花梗和幼蕾的花冠变成棕色或黑色，严重情况下引起叶子和幼蕾掉落。受金属汞蒸气污染的薄荷、喇叭花和豆类植物的叶子和茎会显出暗色的斑点，并逐渐变黑，最后枯萎和过早的落叶，而且污染持续的时间越长，损伤越重。在空气中含汞浓度低于10微克/米^3（＝0.005ppm）时，能使玫瑰产生严重的伤害。在排除污染源后，损伤较轻的植物，1—2个月内就能正常发芽，受损害的玫瑰茎可能在几个月内不能正常生长或开花；以后只能从植株的下部开始生长。

不同植物种对汞蒸气的敏感程度是有差别的，大豆、酢浆草、玫瑰和向日葵等对汞蒸气特别敏感；芦苇、巴豆、常春藤、橡树和厚皮树等对汞蒸气抗性较强；桃树、水蜡树、西红柿、天竺葵等的敏感性属中等。大气中的汞化合物、喷施的农药、雨水和尘埃以及土壤中的汞蒸气都能被叶片吸收，吸收量过大时，叶片就遭伤害。进入植物体的汞，均可被运转到植株的其

他部分，如块根和果实。

在水稻的培养液中加入汞溶液 0.074ppm 时，对水稻没有危害，加入 0.37ppm 以上开始受害，7.4ppm 以上，植株严重受害。受害的症状是叶子黄化，分蘖受抑制，植株高度变矮，根系发育不良（图 2.27），且随着培养液中汞浓度的增加，植物各部分汞的含量上升；根中含量最高，茎叶则较低，果实含量最少。



对照　IV_{1}　IV_{2}　IV_{2}^{1}　IV_{2}^{2}　IV_{3}　IV_{4}　IV_{5}

图 2.27　不同浓度的汞灌溉的水培水稻生长状况比较

对照清水灌溉　IV_{1} 加入 0.074ppm 的汞　IV_{2} 加入0.37ppm 的汞　IV_{2}^{1} 加入0.74ppm 的汞　IV_{2}^{2} 加入3.65ppm 的汞　IV_{3}加入7.4ppm 的汞　IV_{4} 加入22.2ppm 的汞　IV_{5} 加入36.5ppm 的汞

汞和其他重金属元素一样，可以通过改变土壤酸碱度，控制植物对它的吸收和利用，同时也要防止其他因素而加剧汞的危害作用。例如，土壤中施用堆肥，会使氯化汞比单独使用这类化合物对植物的毒性加大。这是由于氯化汞被堆肥中的有机物催化分解，产生金属汞蒸气的结果。汞蒸气和氯化汞可增加植物的呼吸作用和酶的活动，降低其光合作用和减少鲜干重的比率。

6. 铬对植物的影响

存在于自然界的铬通常是二价、三价或六价，而在生物中主要是三价铬。

铬广泛用于各种工业，如钢铁、涂料、染料、皮革制造、机械、炼油及化工等。随着工厂排放的大量含铬废水，铬成了一种主要的污染物。

铬的毒性除了与其浓度有关外，还决定于铬存在的化学形式，金属铬的毒性小，而铬的化合物就有不同程度的毒性，以六价铬毒性最强，对人体和生物都有害，三价铬对人体危害不大。在水体中铬常以六价铬的形态存在，所以世界各国都以六价铬在水体中的含量作为卫生标准。

土壤中铬的浓度范围是痕量①—600ppm（以氧化铬 Cr_2O_3 计），若土壤中含量过高，达 1000—3900ppm，则使土壤贫瘠，植物生长稀疏，种类很少；土壤中含 50ppm 的三价铬时，土壤微生物的硝化作用不受影响，而土壤中含 1ppm 的六价铬时，微生物的硝化作用可降低 14%，若含六价铬 50ppm 时，硝化作用降低36%，因此，不致影响土壤中硝化作用的六价铬的最高允许浓度为 0.1ppm。

铬是植物需要的微量元素，在缺铬的土壤中加入铬后，可以提高作物的产量。这是因为它提高植物体内的一系列酶的

---

①痕量为极微量的意思。

活性，并增加叶绿素、有机酸、葡萄糖和果糖的含量。用含0.05%的铬(铬酸钾)溶液处理玉米的种子，萌发出的植株，其光合作用能力比未处理的大25—50%，并且叶子含较多的叶绿素，因而可以认为铬在玉米植株中参与叶绿素的生物合成。铬还能促进葡萄、亚麻、胡萝卜、黄瓜、大豆、小麦、大麦、燕麦、土豆等植物的生长。

在植物体内都含有一定数量的铬，并与周围自然环境有密切关系。土壤中含铬量高，植物体内的铬也相应增加。用含铬废水灌溉农田，铬离子可在土壤中积蓄，用总铬含量0.01—15ppm 的工业废水灌溉农田，发现土壤铬含量比用河水灌溉的要高出2—10倍，污灌的水稻植株与稻谷中也有铬的积累，稻草中的积累量比稻谷中高，如长期用含铬废水灌溉，铬主要积累在土壤表层，最后对农作物生长会造成不利影响。

土培的水稻若用浓度 10ppm 以下的铬溶液灌溉，生长未受影响，在稻谷和稻草中只有微量铬的残留，若浓度20ppm以上，水稻叶鞘部位出现紫褐色斑点，浓度 100—200ppm 的铬灌溉水稻，可使分蘖受到抑制。小麦受害临界浓度为 5ppm 左右，在此限度以上容易受害。但是作物在水培条件下，低浓度的铬即会产生有害作用。用浓度 1ppm 以上的铬处理小麦，就可能对其生长产生影响。用浓度 3.5—18ppm 的铬溶液处理水培水稻，均产生危害作用，其受害症状是，植株矮小，分蘖受到抑制，叶片褪绿呈枯黄色，根系细短而稀疏，尤以18ppm 处理的植株，受害最严重，灌溉4—5次后，叶片普遍内卷成线形，60%褪绿枯黄，生长极为不良(图2.28)。植物从污水和土壤中吸

收的铬主要积累在根部，其次是茎叶，少量积累在籽粒中。



图2.28　用不同浓度的铬溶液灌溉的水培水稻生长状况比较
对照：清水灌溉　V_1 0.18ppm 的铬溶液　V_2 0.35ppm 的铬溶液　V_3 3.55ppm 的铬溶液　V_4 7.07ppm 的铬溶液　V_5 17.68ppm 的铬溶液

高浓度的铬不仅其本身会对植物产生毒害，而且影响植物对其他化学元素的吸收。如用浓度 5—60ppm 的六价铬加入栽培大豆的土壤中，便会干扰大豆植株顶部钙、钾、镁、磷、铜的积累。受害的大豆最终表现为植株顶部严重枯萎。

与各种金属离子（如镍、钛、锌）比较，铬对作物的抑制作用是较弱的。它对作物产量的影响，与土壤中的有机质含量，酸碱度有关，酸性强，毒性作用较严重。六价铬可被腐殖质还原成三价而降低了毒性，加入有机肥和淤泥可解除铬对植物的危害。又如三价铬对小麦、土豆均有毒，若加入石灰（$CaCO_3$）就能抵消其毒性，施用过亚硫酸铬［$Cr_2(SO_4)_3$］的植株，会出现缺磷症状，三价铬所造成的影响也可由于加入磷酸氢钙

($CaHPO_4$)而消除。在土壤中加入少量的三价铬可增加大豆的产量，而芥菜的产量却降低，这说明各种植物对铬的反应是不同的。

7. 砷对植物的影响

砷的污染主要来源于造纸、皮革、硫酸、化肥、橡胶、冶炼、纺织和农药等工厂排放的废气、废水。冶炼厂燃烧含砷矿物后，挥发性的砷化物直接进入大气中。硫酸厂的废水含砷量有时可高达 5ppm 左右，如不经处理直接灌溉农田，则会造成对土壤、作物、地下水的污染。目前一般饮用水规定砷含量不得超过 0.05ppm。

砷对植物生长发育的影响与砷的浓度有关。含砷浓度 0.20—2.00ppm 的废水灌溉水稻，生长正常，产量与清水灌溉的没有差异。特别是低浓度的砷（0.20，0.40ppm）对水稻生长有刺激作用。浓度在4.0ppm左右有时会影响产量。但是含砷浓度过高的废水，使水稻根系发黑，产量降低。砷对水培的水稻影响显著，浓度 2ppm 的砷已能抑制水稻生长。砷浓度4.0 ppm 使水稻分蘖减少，根呈黑褐色。浓度在 20ppm 使水稻很快死亡。其受害症状是叶子萎蔫，根系变色，最后可能枯死。砷对小麦的影响较水稻更为明显。小麦在含砷废水浓度 0.40 ppm 范围内，生长发育比清水灌溉的好。浓度2.00ppm 已引起小麦产量及千粒重明显下降。白菜在浓度 3ppm 以上即会受害。

砷在植物、土壤中的积累因砷的浓度而不同，浓度愈高植

物各部位的砷含量也增加,同时以根部的含量最高,茎、叶次之,果实最少。各种作物对砷的吸收量也各不相同,水稻特别是根部吸收和积累砷最多;其次为小麦,玉米吸收的砷最少。砷对植物的毒性是由于砷在水中使砷酸变成亚砷酸,亚砷酸有阻碍生长和养分吸收的作用。

土壤中的砷对植物的毒性受到其它化学元素的影响。砷和磷是同一周期族的元素,有着相同的化学和物理特性,植物中砷的含量会由于磷的增加而有变化,高浓度的磷对砷有对抗作用,可克服砷对植物的毒害,也就是说由于土壤中磷的增加,使砷对植物的毒性减小。但又因具体条件不同而有变化。

土壤中砷对植物的毒害与土壤酸碱度的高低有关,一般土壤酸碱度在 6.0 以下,加入磷酸氢二钙(Ca_2HPO_4)可解除土壤被砷污染的毒性。如被污染的土壤酸碱度在 6.0左右,施用磷酸氢二钙,大麦生长良好。砷的毒性也受季节的影响,在含有砷化铅的土壤中栽培作物,夏季和冬季砷化铅的毒性不同;砷含量较高的土壤,夏季大麦的生长显著减弱,但在冬季则很少或甚至没有影响。

通常在土壤中的砷超过一定时期后,毒性逐渐减轻。此外,减少砷对植物的毒害有效的方法是施加各种铁、铝和钙的化合物,调整土壤的酸碱度或控制磷和砷的比例。

8. 镉对植物的影响

镉广泛用于化学工业如塑料、颜料、试剂、电镀或电机工

业中。

镉的污染主要来源于铅锌矿和炼镉厂排放的废气、废水和废渣。大雨时可能从矿渣堆积场流出大量的镉。镉有时以粉尘状存在于大气中，落在地上能被雨水带走。铜、锌、铅污染的地区，常常也带有镉的污染。

镉是一种毒性较强的金属，世界各国对镉造成的污染已引起重视，由于镉不易自行分解和消失，工业三废中的镉，若不经处理，任意排放，就会引起严重的后果。如日本发生的骨痛病就是由于镉的污染，当地居民用含镉废水灌溉农田，镉积累在稻米中，人长期吃含镉的大米，饮用含镉的水，人体吸收和积累镉造成对健康的危害。从日本对骨痛病区和矿区的稻田土壤、稻根以及大米的分析可以看出，稻根灰分中所含镉的浓度大大超过土壤中镉的浓度，而大米中镉的积累也十分明显，大米中镉的含量比土壤多两倍以上，说明土壤受镉的污染程度增加，会引起糙米的含镉量增高。但在土壤淹水的情况下，两者的相关性并不明显。

植物对镉污染的忍受能力较强，甚至用浓度100ppm 的镉溶液灌溉小麦或水稻，对作物的生长与产量均没有不良影响。但是在籽粒中镉的残留却大大增长，超过食品中的允许标准(0.3—0.4ppm)。用含镉浓度 2.5ppm 和 0.1ppm 溶液，分别浇灌土培小麦和水稻，在它们的籽粒中镉积累量已达到有害浓度。作物体内含镉量与污灌的量和次数成正比，而且与污灌时间也有密切关系。污灌时间早的含量小，迟的含量大，在拔节后期至成熟期以灌清水为宜。

在土壤中过量的镉，不仅能在植物体内残留，而且也会产生明显的危害症状。镉的毒害可使大豆、小麦发生黄萎病，干物质重量显著下降。大豆对镉比小麦更为敏感，受害后，叶脉可由黄变为棕色，甚至叶柄也变为淡红棕色，叶片褪绿，叶绿素严重缺乏，表现为严重缺铁症状。在高浓度镉的毒害下，小麦十天后就出现受害症状，25 天后完全枯死。开始时在叶片出现黑褐色斑块，然后整片叶子萎黄，叶尖呈黑褐色，斑块逐渐连成片，变为坏死组织，逐渐死亡。蔬菜也会因大量吸镉而受害，生长迟缓，产量下降。

9. 铅对植物的影响

铅的污染主要来源于汽车排出的废气、冶炼、化学工业、农药、石油燃烧以及含铅的油漆、釉和搪瓷。在自然界中，岩石、土壤和植物都含有一定数量的铅。在土壤中铅的自然值变化很大。某些农业土壤的含铅量为 2—200ppm 左右，平均约为 15ppm。其中可溶性的铅的含量为 0.05—5.0ppm。土壤对铅的固定能力很强。铅在土壤中的分布特点是表层含量较高，下层较低，向下层移动的的速度较慢，这与铅在土壤中的溶解度有关。

植物的自然含铅量变化也很大，一般在 5ppm 以下，某些森林地区不同植物叶中的含量为0.3—30ppm。玉米叶的含铅量一般为 10—25ppm。

植物利用根系吸收土壤中的铅，当土壤或大气中的铅浓

度增加时，也会使植物中的含铅量增高。根部所吸收的铅主要积累在根部，只有少部份转移到植物的地上部份。如用浓度 800ppm 以上的铅溶液处理过的土壤，在此土壤上生长的大麦，地上部份含铅量在3ppm 以下，但根部的含铅量可达800ppm。水培的柠檬根系的含铅量可达 890ppm 以上，而叶中的铅浓度少于 3ppm。用不同浓度的氯化铅或硝酸铅灌溉大豆、玉米和水稻，这些植物体内的含铅量都随着铅浓度的增加而升高，而且以根系最明显。如用浓度 0、0.1、1、10、50ppm 的硝酸铅灌溉水稻，水稻根中的含铅量分别为痕量、40、120、180、1300ppm；茎叶中为痕量、痕量、痕量、20、40ppm；穗中各种浓度处理的，均为痕量。

铅的污染不仅使植物体内的含铅量显著增加，并且影响植物的光合和蒸腾作用强度。如不同浓度的氯化铅处理水培的玉米和大豆，随着铅浓度的增加，光合和蒸腾作用的强度降低。在低浓度铅的影响下，玉米比大豆敏感，大豆的光合和蒸腾强度与对照植株一样。但用高浓度铅处理，大豆比玉米敏感，光合和蒸腾强度受到强烈抑制。一般随着铅的浓度增高，光合和蒸腾作用的速度逐渐降低。这两种生理过程的变化与叶子气孔对二氧化碳吸收和水蒸气扩散的能力有关。

土壤中其它元素的存在也影响植物对铅的吸收，若没有石灰，土壤中的铝可与铅发生竞争而被植物吸收。在石灰性土壤中，则钙与铅竞争而被植物根系吸收。一般在有钙存在时，植物体内即使铅的浓度较高，也没有明显的毒性，这可能是由于钙与铅竞争，铅被吸附在酶化学结构不重要的位置

上，而不起毒害作用。因此，植物体内钙的含量低时，对铅具有较大的敏感性。土壤的酸碱度对植物吸收铅也有影响。当土壤的酸碱度由 5.2增加至 7.2时，萝卜体内的含铅量降低，这可能是由于酸碱度的增高，铅的可溶性和移动性降低，以致影响到植物对铅的吸收。

大气中的铅一部份经雨水淋洗进入土壤，一部分落在叶面上，有些植物叶表面有一层角质层保护，铅不易为植物吸收，但在某些植物上部的叶和茎受大气中铅的污染比下部的严重。一般植物上部的叶和茎中铅的浓度变化比下部的大三倍，散布在空气中的铅，可以通过张开的气孔进入叶内。

在公路边的土壤和生长在土壤上的各种植物铅的含量随公路的交通运输量而增加，也由于远离公路而减少。大多数铅沉积在公路附近 30.5米范围内。生长在距公路 4.57米的黑麦和土豆，与生长在距离公路 300 米的同类作物进行比较，近处生长的谷壳和杂草植株上部，铅的含量较高，但谷粒和土豆的块茎含量没有变化。在交通运输量大的公路交叉点上，植物含铅量高达3000ppm，而交通量较小处含铅量只 500ppm。同一种植物因离公路的远近含铅量也不同，从对一棵乔木的树干分析，可以看出，远离公路时，铅含量仅 0.4—2.0ppm，而交通繁忙处的的树干，铅含量达2—52ppm，粮食中一般含量为0.1－1.0ppm，但受铅污染严重的地区，粮食的含铅量比正常含量大 10 倍或更多。因此，由于水系、大气和土壤的污染而引起的植物含铅量的增加是值得重视的问题。

10. 锌对植物的影响

锌的污染主要来自化学、农药、采矿和冶炼等工业，凡有铅、镉污染的地区，也有锌的存在。

锌是植物生长所不可缺少的元素，硫酸锌是一种“微量元素肥料”。植物缺乏锌时会出现一些症状，植株顶端生长缓慢甚至停止生长，幼叶硬小，呈暗绿色，叶脉局部干枯，茎变为紫绿色。玉米缺锌会产生“白色幼芽”，以后在叶脉间出现淡黄色的条纹，叶绿素不易形成。有的下部叶片干枯，上部叶片在叶脉间显出黄色条纹，植株的节间很短，生长受到阻碍。豆科植物缺锌症状与玉米相似；果树、蔬菜缺锌也同样出现叶片褪绿变白，生长缓慢以至衰亡等症状。

一般的植物大约含有百万分之几的锌，个别植物含锌量却很高。锌在植物体中的含量以根部最多，其次是茎、叶、果。某些植物的锌含量如下：杏桃可食部分为 2—3ppm，大麦种子为 21ppm，玉米种子 20ppm，燕麦种子 22ppm，小麦种子 70 ppm，野蚕豆 35ppm，燕麦秸 83ppm，小麦秸 17ppm，水稻2.5 ppm，甘兰叶 24ppm，土豆块根 12ppm（以上均按干重计算）。

土壤中的大部分锌是以结合状态存在，或为有机复合物及各种矿物。它们一般不易为植物吸收，植物只能吸收水溶性或可代换态的锌。锌的有效性主要决定于土壤的酸碱度，其次是各类土壤吸附和固定锌的能力。使用过量的石灰也会影响锌的有效性，土壤中有效锌的含量随着酸碱度的增加而

减少。

过量的锌主要伤害根系，使根的伸长受到阻碍。此外，地上部分有褐色斑点和坏死，且大多出现在老叶上。过量的锌会使水稻、大麦、蚕豆、洋葱的叶褪绿，随后出现小的红褐色斑点。锌对大豆的毒害，开始在叶的中脉，基部出现红色素，然后叶子开始卷曲，三出小叶褪绿逐渐向茎的上部延伸，茎轴枯死，并使茎和叶变成紫红色。

植物对锌的忍耐浓度大于其它的元素，用不同浓度的锌（0.23，1.13，2.25，4.5，11.4ppm）灌溉水稻。土培的水稻从低浓度到高浓度的处理都没有出现危害。但是从产量上可以反映出随着浓度增高而下降的趋势，秕谷率也增高。用上述不同浓度灌溉和水培水稻，锌对其生长发育影响更加明显。在灌溉后一周，高浓度含锌溶液（11.4ppm）处理的水稻，少数叶片出现褪绿条纹，叶尖枯黄。当连续灌溉多次后，水稻受害症状更明显。2.25ppm 锌灌溉的水稻，叶片也出现褪绿；浓度4.5ppm灌溉的植株，叶片变为淡绿色，生长不良；浓度11.4ppm灌溉的水稻，叶片约60％褪绿呈黄绿色，叶尖枯黄且叶缘出现褐色斑条，严重抑制分蘖，植株低矮，根系短而稀疏。用浓度0.23、1.13ppm 处理的水稻则生长健壮，叶片浓绿，根系发达（图 2.29）。锌对水稻、玉米的积累特点以根部最高，茎叶次之，种子最少。

各种植物对高浓度锌毒害的敏感性不同，很多植物生长在含 44ppm 的硫酸锌溶液中就会枯死，大麦 30 天干枯，甜菜76 天枯萎。大豆是吸收锌能力强的作物，但过量的锌也会使

它受害；开始在先端的叶子出现黄化现象，产生褐色的斑点，叶柄和叶脉成为褐色，好像附有铁锈一样。蚕豆受害时，无论是老叶和新叶都出现有芝麻粒那么大的褐色斑点，根尖变成褐色。



对照　VI_1　VI_2　VI_3　VI_4　VI_5

图 2.29　用不同浓度锌溶液灌溉水培水稻，生长状况比较

VI_1 0.225ppm　VI_2 1.12ppm　VI_3 2.25ppm　VI_4 4.5ppm

VI_5 11.4ppm　对照：清水灌溉

土壤中其它元素的存在影响植物对锌的吸收。施用过多的磷肥，植物吸收的锌就减少，甚至引起锌缺乏症。施用磷肥还可减少植物地上部分含锌的浓度。若植物地上部份锌的含量增高，磷的浓度则降低，这两种元素相互影响十分显著。

温度对锌的有效性也有影响，有效锌通常在温度适中时出现。在温度为 10、16、21 和 27℃时，土豆的锌含量为 5.1、6.8、11.9 和 12.4ppm。当土壤中锌的含量低时，无论是高温或低温都会引起植物缺乏锌。

土壤的酸碱度和有机质含量也会影响植物生长和对锌的

吸收。例如在中性土壤中加入 100ppm 的锌溶液，洋葱生长正常。当加入 500ppm 的锌时，洋葱茎叶变黄，显著不良。但在酸性土壤上，加入 100ppm 的锌溶液，洋葱生长发育变弱。加入 500ppm 锌时，这种植物几乎难以生长。土壤的酸碱度高，有机质丰富，可为植物利用的有效锌的含量降低，植物体内的含锌量较低。因此，在酸性土上，锌污染的毒害可通过施石灰而减轻，以至消除，磷肥也能减轻锌的毒害。

光对植物吸收锌的影响也很大，在多雾弱光的地区，植物吸收较多的锌，体内的锌含量较高，而在强光下植物对锌的吸收却较少。

11. 铜对植物的影响

铜广泛用于电气、钢铁、造船、国防和农药制造工业。

铜是植物需要的微量元素之一，铜化合物（如硫酸铜）是微量元素肥料，在沼泽地区施铜肥能显著提高作物产量。

由于植物需要少量的铜，因此在植物缺铜时，会出现各种症状。如烟草叶片幼龄期缺铜，则呈永久性萎蔫或显著的褪绿病；开花期极度缺铜时，紧邻着蒴果下面的茎不能直立；蔬菜缺铜时，叶片褪绿甚至萎蔫，作物生长极为缓慢，发育受到阻碍；豆科植物缺铜时，幼龄叶片可能枯萎，但无褪绿症状，叶片大量脱落；柑桔缺铜时，叶片大多呈畸形，出现极细的绿色叶脉网纹；在果实上具有树脂沉积的瘤状物。

过量的铜对植物会产生毒害，在水体中铜的浓度 0.5ppm

时，能使 35—100% 的原生淡水植物被毒死。过量的铜对藻类和海生植物毒性很大;作物生长也减弱。随着浓度增高,大麦生长速度降低。用浓度 0.6ppm 的铜溶液灌溉水培的水稻,产量则减半。若浓度增加至3.2ppm,水稻即毫无收获。作物受铜毒害的主要症状是褪绿,光合强度减弱,造成缺铁。在水培的条件下,含铜过多,使作物主根尖端生长点细胞的分裂受抑制而分出几条短的叉根，并且由地上部分转运下来的碳水化合物集积在叉根上,因而短根变粗。在土培的条件下,受害根系的形状与水培不同，呈卷曲粗硬。铜在植物体内的分布,以根的含铜量最大,茎叶次之,穗中最少,植物体内的含铜量随土壤和灌溉水中含铜的浓度增高而增加。

在一般的农业土壤中铜的含量约 1—70ppm，然而对植物发生作用的是有效态的铜。土壤的酸碱度、腐殖质含量、上茬作物的特性都会直接影响土壤中有效铜的含量。土壤中的铜只有1%可溶于水,能为植物所吸收。通常在植物的组织中都含有一定量的铜,平均含铜量为 3—40ppm。但又因植物种类,生长地土壤的性质,施肥数量及其它条件的影响而有很大的变化。苜蓿的含铜量约 5ppm，大麦 10ppm，小麦 8ppm，小麦种子 6ppm，胡萝卜根 3ppm，菠菜 8ppm，西红柿果实 4ppm。

铜对植物的毒性受其它元素含量的影响，在水培的营养液中只要含 1ppm 的硫酸铜,即可使大麦停止生长,然而加入其它的营养盐类,即使浓度达4ppm 的铜也不致于使大麦停止生长;高浓度的铜会引起柑桔类缺铁而褪绿;施用高浓度的铜

所造成的毒害,可以因为铁的增加而减轻,过量的铜、锌、锰、钴、镍都可与铁产生对抗作用,使植物由于缺铁而褪绿,但加入钼后可以减轻上述金属元素所造成的危害。培养液中加入过量的铜还会导致缺锰所产生的病症。

12 硒对植物的影响

硒的污染来自电厂、玻璃、陶瓷、橡胶等工业的废水。硒与硫是相近似的化学元素。硒及其所有的化合物都有毒，牛羊吃了含硒较多的牧草会掉毛，软蹄。硒是植物所需要的微量元素,它可在动、植物体内积累。

某些地区的土壤中,往往具有丰富的硒酸盐,其含量在10 ppm 以下，在一般的土壤中含硒量就更低些。在天然和栽培的植物中硒的含量亦不高。植物主要利用土壤中的有效态硒,农作物体内的硒含量一般 0.1—5ppm，最高可达 30ppm。

硒在植物体内的分布特点是地上部份的含硒量高于地下部份。幼年植物根中的硒含量低于成年植物。根系从土壤中吸收的硒可转移到地上部份，收获后种子里的硒可以带到下一代,各种作物体内的含硒量因生长发育阶段不同而有变化。小麦在生长早期比成熟期的含硒量高,燕麦在幼苗、抽穗、扬花和授粉期均不含硒,但在成熟早期,硒的含量增加。大麦在各发育阶段的含硒量都保持稳定。

硒对植物的有利或有害影响，主要决定于它的浓度。低浓度的硒溶液(0.001—0.05ppm)对作物生长有刺激作用。用

不同浓度的硒灌溉土培的水稻。其浓度在1—30ppm 范围内，对水稻没有显著的影响。用含 30ppm 以上的硒溶灌溉水稻，对株高、千粒重及产量开始产生影响。用浓度300ppm 的硒处理的水稻，叶鞘部分有明显的“纹枯病”的斑纹，斑纹大多为灰色夹黄，组织坏死，部分叶片因失水而卷曲，有些叶片绿色组织中夹有黄色斑点斑纹。根系生长也受抑制，呈锈红色，谷粒大部份有很多黑褐色的斑点。浓度降低，上述症状减少。浓度1000ppm 处理的水稻，叶鞘“纹枯病”状更为严重，未到成熟期，植株即死亡。土培、砂培①或水培的小麦，由于过量的硒的影响，受害的典型症状是叶子褪绿呈雪白色，其它作物如高粱、大豆、黑麦也都与小麦一样，受硒伤害后会出现褪绿症状。

根据对生长在含硒酸盐土壤上的各种植物的根、茎、叶的全硫和全硒的分析，发现植物体内硫与硒的含量有一定关系。植物体内硫的含量低则硒的含量亦低，植物中硫的含量高则硒的含量亦高。一般植物体内的全硫含量比硒高几倍，在自然条件下，土壤中硫与硒含量在一定的比例时，可以大大减少植物对硒的吸收，排除硒酸盐对植物的毒性，这是由于硫和硒具有对抗作用。例如，在不含硫酸盐的水培溶液中，加入0.1ppm 的硒，就会使小麦出现可见的伤害。若把硫酸盐和硒酸盐按12:1的比例，或更小的比例加入水培溶液中，小麦不出现受害症状。若两者以8:1或更大的比例，小麦叶片褪绿，植株变矮。若硫硒比例为2:1，小麦生长完全受抑制。浓度 1ppm 硒的毒

---

① 砂培：是把作物种在加入各种营养元素配制而成的培养液的石英砂上。

性可用一定比例的硫酸盐加入水溶液中而消除对植物的毒性，但对浓度更高的硒，其毒性则无法减轻。

用含8—10ppm硒的麦粒喂养老鼠，会使老鼠生长延缓，几周后就死亡。牧草一般含硒量为0.01—0.1ppm，当牧草中含硒量达10—30ppm就使牲畜中毒。牛羊对硒含量能忍受的界限约为4ppm。有些国家对粮食作物禁止应用含硒的杀虫剂，含硒的农药只准用于观赏植物。

（三）农药污染对植物的影响

为了保护作物免受害虫和病菌的危害，促进农业生产的发展，国内外广泛利用化学农药，防治病虫害，取得了显著的效果，因此近几十年来，农药的生产和使用获得飞速的发展。目前化学农药的品种已增加到1000种以上，常用的品种也在300种以上，主要的是有机氯、有机磷、有机汞、有机砷和氨基甲酸脂五大类，而有机氯的产量和使用量则占首位。

在所有农药中，杀虫剂占主要地位，其次是杀菌剂。除草剂是近十多年才推广应用的，但在国外的发展速度却是后来居上，在美国和英国除草剂的产量和使用量已超过了杀虫剂，在我国除草剂的应用也逐渐发展起来。

化学农药一般都是些非选择性的农药，它在防治作物的病虫害的同时，还会对一些有益生物具有不同程度的毒性，而且容易产生残毒，污染环境。由于化学农药的品种繁多，毒性也各有不同，对环境污染、人体健康的影响也有差异。我们选

择国内常用的五类（有机氯、有机磷、有机汞和砷制剂、除草剂）农药，分别予以介绍。

1. 常见农药的种类

（1）有机氯农药

有机氯农药是指含氯的有机化合物。自从四十年代首次人工合成滴滴涕和六六六以后，有机氯农药取得很大发展。这类农药的特点是杀虫力强，杀虫范围广，成本比较低廉，便于大量生产，而且不容易发生急性中毒。由于上述的优点，近三十年来，有机氯农药在促进农业丰产，消除蚊蝇，预防传染病等方面发挥了很大的作用。但是，有机氯农药的另一特点是化学性质稳定，残效期长，在短时期内不易分解解毒。因而，它的残毒很容易残留在作物和土壤中，同时也会由于农药散发和流失而污染大气和水源，长期残留在自然环境中。受污染的农副产品被人和牲畜长期食用，会引起积累性中毒，特别在人和牲畜体内都发现积累有机氯农药及其代谢产物，特别在脂肪里积累量远远高于其他部分。这是由于有机氯化合物不易溶解于水，而脂溶性很高，因此容易在脂肪或油类中积累。

有机氯杀虫剂种类很多，最主要的有滴滴涕和六六六，其次有毒杀芬、艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、氯丹、七氯等。

（2）有机磷农药

有机磷农药是含磷的有机化合物，是磷酸的衍生物。这类

化学农药具有强大的杀虫效果，自1938年开始用于农业上。目前世界上有机磷农药已有数百种，较广泛地用于防治农林害虫约五十余种，新品种还在不断出现。从现有的杀虫剂中，有机磷农药的杀虫效率是最高的。由于其药效高，用量少，因此每亩药费要比有机氯农药更为低廉。这类农药不仅杀虫效力强大，而且能兼治各种昆虫和螨类，是广效性药剂。由于它属于内吸性① 农药，可以杀死害虫，而不致伤害许多益虫。这些农药都是磷酸的脂类或酰胺类化合物，无论在植物体内或土壤中经过一定的时间，都要水解成无毒物质，因此不会影响植物产品的质量，也不致引起土壤变质。

有机磷农药的化学特点是比较容易水解，它的某些成分也容易被氧化，氧化后产物毒性增强。在可见光和紫外光的作用下，磷酸脂会发生光化作用，在动植物体内，由于受到酶的作用，磷酸脂进行分解，因此不在体内蓄积。由于有机磷是脂溶性的化合物，容易通过皮肤，侵入人体，它对植物体也有不同程度的渗透性，如对硫磷与二嗪农等能侵透到植物的茎、叶。

(3) 有机汞农药

汞和辰砂的应用已有二、三千年的历史，古代用汞仅限于宗教与医学上。自 1912 年德国人开始用有机汞化合物进行拌种消毒，以后欧洲和美国都陆续发展有机汞制剂用于农业，有机汞制剂的品种不断增加，它们不仅可以用来拌种，而且还

---

① 内吸性农药是可以由植物根、茎、叶等各部位吸收后，传导至植株上部的农药。

可以用于处理土壤、块根作物、蔬菜和水果。这类农药的使用直到最近几年还在增加。虽然大量使用有机汞制剂的时间仅二、三十年，但是由于它们具有积累的特性，而且会在生物体内浓缩，并具有甲基化作用，因此毒性很大。最令人担心的是烷基汞中毒具有一定的遗传性，会直接危害下一代。

农业上常用的有机汞制剂有西力生（氯化乙基汞）、赛力散（醋酸苯汞）、富民隆（磺胺苯汞）与谷仁乐生（磷酸乙基汞）等。有机汞几乎都是固体的，一般在水中的溶解度不高，能溶于苯等有机溶剂中。但磷酸乙基汞易溶于水，甲氧乙烯氯化汞与醋酸苯汞在水中也能溶解一部分，因此这类有机汞有可能污染水源。各种汞的化合物因种类不同，它们的毒性也有显著差别，一般认为烷基汞对人体最毒，其次是苯汞与甲氧乙基汞。

（4）有机砷和砷素制剂

有机砷农药具有良好的杀菌作用，它是一类含砷的有机化合物。随着我国双季稻面积扩大，广泛推广矮秆、多穗水稻品种，施肥量和密植也有所增加，因此水稻纹枯病的发生和危害已成为水稻增产的主要障碍。有机砷杀菌剂如稻脚青（甲基砷酸锌）、苏农 6401（甲基砷酸钙）、苏化 911（硫化甲基砷）和退菌特等是防治水稻纹枯病的常用农药。此外，苏农 6401 还可作棉花拌种，能有效地防止棉花苗期的炭疽病和立枯病。稻脚青还可防治苹果炭疽病。

除了有机砷杀菌剂外，目前农业上使用较多的砷制剂主

要有白砒(即砒霜)、砷酸钙、砷酸铅等。砷可溶于水,水溶性的砷喷洒在植物叶子上能被叶子吸收而受害。因此一般都把砷制剂做成砷酸铅、砷酸钙等一些不溶性的砷素农药,以防药害。

(5) 除草剂

自从 1942 年发现 2,4 滴能防除杂草以后，除草剂就逐渐发展起来。近十年来有机除草剂发展十分迅速，目前国内外除草剂品种已达 130 种以上。积极发展和推广使用化学除草剂,是提高农业产量的一项技术措施,它既可节省劳力又可减轻劳动强度。

化学除草剂的品种很多，大致可分为十大类。①苯氧羧酸类，如 2,4 滴、2，4，5 涕、二甲四氯及除草佳。②苯甲酸类,如三氯苯甲酸与草灭平。③氯化羧酸类,如三氯醋酸与达拉明。④氨基甲酸酯类,如苯胺灵、灭草灵、氯苯胺灵及燕麦灵。⑤取代脲类，如灭草降、利谷隆及敌草隆。⑥均三氮苯类,如西玛津、莠去津、扑灭津及扑草净。⑦二苯醚类,如除草醚与草枯醚。⑧酚类,如五氯酚钠与二硝酚。⑨酰胺类,如敌稗。⑩其他如杀草强、杀草快及百草枯。这些除草剂有的只能杀伤杂草,而不伤害作物,具有选择的特性,如2,4滴类。某些品种对凡被药剂接触到的植物都可杀死,如五氯酚钠等。有的品种只有药剂触到的部分才能发生作用,杂草才被杀死,药剂在植物体内不转移、不传导,如敌稗、五氯酚钠就属此类型。有的除草剂接触植物后,能够被植物吸收，渗入体内，传遍整个植株,如达拉明、2,4 滴、二甲四氯等。

除草剂在环境中会逐渐分解，对哺乳动物的生化过程无干扰，也未发现在人体中有积累。因此一般认为化学除草剂(除五氯酚以外),对人畜的毒性不大。近年来,美国和其他国家大量使用除草剂,对水源的污染已引起了各方面的重视,开始对除草剂在土壤、作物、食品和水源等残留和残毒进行研究。

2. 农药对植物的影响

化学农药一般来说都是些有毒化学药品，这些化学药品只需极少量就可以把农、林、牧和渔业方面的害虫、病菌、害鼠和杂草等毒死，或者使一些有害生物的生理作用受到严重的破坏。

由于化学农药是一些化学物质所构成，它们的化学特性的差异以及浓度的不同,会对各种植物产生不同的影响。

有一些农药浓度较低时,除了可以杀死作物的病虫害外,还有刺激植物生长的作用。例如用有机氯杀虫剂——滴滴涕防治稻苞虫后,使水稻的叶片增厚,稻叶发绿,分蘖增加,植株生长健壮。使用有机磷杀虫剂对硫磷和滴滴涕防治棉花害虫,施药后,也会使棉叶浓绿,生长加速。又如在土豆上使用对硫磷后,会使叶片内的叶绿素增加,叶面温度升高,蒸腾作用加强,促进生长,增加产量。出现这种现象的原因是由于微量的化学物质能够刺激并促进作物体内的新陈代谢，使光合和呼吸作用增强,同时也刺激了土壤中有益的微生物的活动,特别能促进固氮细菌活动和繁殖，使土壤中含氮量提高。因

此低浓度的农药有促进农作物生长，增加分蘖，从而提高产量的作用。但是农药在防治农业病虫害中所用的一般剂量和浓度，都远远超过刺激作物生长所需的数量。因此，农药对植物的刺激作用在大多数情况下是不明显的。

正常使用化学农药，有时也会对农作物或种子产生药害。归结起来可分为急性药害与慢性药害二种：①急性药害，一般在喷药后2—5天发生，在植物的叶面上或叶柄基部出现烧伤的斑点或条纹，叶子变黄、变形、凋萎、脱落，使植物的幼嫩组织发生褐色焦斑或被破坏。在花，果期受药害后，便造成落花、落果。发生这类药害的原因大多是由于施用一些无机农药如砷素制剂、波尔多液、石硫合剂等所致。②慢性药害，施药后植物不一定很快会出现症状，而是影响植物正常的生长发育功能。如植物的枝叶不繁茂，生长缓慢，叶片逐渐变黄或脱落，着花减少，延迟结实，果实变小，籽粒不饱满，或种子发芽率降低。发生这类药害的原因往往是由于农药使用过量或浓度过高，也可能是施药时间不合适所造成。由此可见，农药使用对植物的有利或有害的影响受很多因素所决定。

不同的作物或果树品种对农药的抵抗能力是有差别的。例如，有机磷农药敌百虫可以用于防止多种农作物的害虫，效果既好，又无药害，但是高粱对这种农药的抵抗能力很差，若用于防治高粱上的害虫，就会产生药害。乐果对多数果树和农作物都很安全，但对枣树、核桃很容易发生药害。除草剂对不同作物的影响差异极大，如2，4滴对棉花、大豆、土豆、菜类、瓜类等双子叶植物极为敏感，即使微量的喷雾落在这些作物上，

也会引起严重药害，而对单子叶植物较安全。一般认为对化学农药耐药力较强的植物，有稻、麦、玉米、高粱、甘蔗、土豆、棉花、柑桔、甘蓝和西红柿等。耐药力较弱的作物和果树有豆类、桃、李、杏和枇杷等。瓜类是耐药力最差的植物。为了防止农药对植物产生药害，因此在选用农药时，必须了解各种植物对不同农药的敏感程度。

植物叶片的形态结构以及植物的不同生长发育阶段对化学农药的敏感程度也有明显差别。凡是叶片蜡质层厚，茸毛多，气孔少的植物，抗药害的能力较强。叶片气孔多、角质层薄而且多皱纹的植物，由于容易积聚较多的药剂，抗药害能力就差些。瓜类抗药害能力较差，是与其叶片构造有一定的关系。此外，植物叶片的酸碱度也会影响它受农药危害。如桃叶的酸碱度（pH值）约4，叶子的酸性组织液能溶解过量的铜，因此桃树对波尔多液很敏感，波尔多液是一种以铜为主要成分的杀菌剂，是硫酸铜和石灰的合剂，叶组织液所溶解出的其中过量的铜，使桃树产生药害。土豆叶的酸碱度为微酸性至中性，约6.4左右，它不易溶解波尔多液中的铜离子，因此比较安全，耐药力较强。植物的不同生长发育阶段对化学农药的敏感程度有明显的差别。植物在幼苗、孕穗、扬花等阶段对农药的忍耐能力都较差，植物的一些幼嫩组织或生长处于不良的状态的植株施用化学农药都比较容易产生药害。例如施用苏农6401和稻脚青防治水稻纹枯病，必须严格掌握在水稻孕穗期以前或开始发病时施药，如在孕穗期以后施药，会造成严重药害，导致水稻不孕，影响产量。

此外，农药在植物体内残留的问题目前也引起国内外广泛重视，它是引起农药公害的重要原因。粮食作物、果树、蔬菜和牧草施用农药后，不可避免地有部分农药附着或残留在植物体的表面，有的还能渗透到植物表皮的蜡质层或组织内部。具有内吸作用的农药，则被植物吸收后，转运到体内其它部位。这些残留在植物体内外的农药，虽然随着时间的增长和光照、降雨、风吹及气温等外界环境的影响以及植物体内酶的代谢作用，不断消失、分解，但是在农副产品中，不可避免地要残留些微量的农药或其有害的代谢产物。因而必须根据各种农药的毒性大小和残效期的长短，规定施药与收获的间隔时间，使食物中药剂的残留量，不致超过一般规定的残留极限，以保证食用的安全。但是对于一些残效期很长的农药如有机氯、有机汞制剂等农药残留及在动植物体内积累问题，特别在人体中积累必须引起重视。

3. 几种常见的化学农药在自然环境和植物中的运转、残留及降解作用

农田大量施用化学农药对于防治病虫害、提高作物产量固然起着积极的作用，但是由于大量、长期地施用，不可避免地使自然环境受到污染。从而也污染了农、副产品，直接影响到人类健康。一般农药的施用，有二种方式，一种是直接撒在被害虫侵袭的作物上，另一种是喷撒在水面或土壤中，然后通

过根系吸收或毛细管的作用，触杀和毒杀害虫。不论采用何种方式，一般直接粘附在作物体上的农药量约占10%。大部分的农药则落到土壤上。有一部分则飞散在大气中，被大气中浮游的粉尘粒子所吸附，其中又有部分被阳光中的紫外线所分解。大气中飞散的农药经过雨水的溶解和冲洗后，最终仍降落地面。在稻田中使用农药，有90%的药量都落到水中，并随着灌溉水流入河道。此外，施用于旱地、山林中的农药随着降水后的地表迳流，也流入河道，造成河流的污染。

农药的扩散，并不是单纯的物理、化学的过程。而且还包括呼吸和食物链作用，使化学农药浓缩在生物体内。凡是在食物链中比较高级的生物体内，农药的浓缩程度也愈大。因此，在人体内积累的农药也就较多。

通常施用的化学农药大部分落入土壤中，这是土壤中农药残留的主要来源。各种不同的农药由于其化学、物理性质不一，在土壤中残留时间也有明显差别，一般以含铅、砷、铜、汞的农药在土壤中残留时间最长，有机氯农药次之，有机磷农药较短（表2.1）。这些残留在土壤中的农药可被农作物所吸收。根菜类植物如土豆、萝卜、胡萝卜等能通过根部直接吸收农药，并经细胞的渗透作用进入体内；有些农作物如水稻、玉米、黄瓜之类，则由根部吸收，经输导系统而达地上部分。

作物对于土壤中残留农药的吸收量与农药的残留浓度成正相关。不同作物对各种农药的吸收程度是不同的。如作物对有机氯杀虫剂的吸收量以林丹为最大，滴滴涕为最小，其次序为林丹＞异狄氏剂＞七氯＞氯丹＞狄氏剂＞毒杀芬＞滴滴

表 2.1 各种农药在土壤中的残留时间

农药种类	半衰期①(年)
含铅、砷、铜、汞的农药	10—30
滴滴涕等有机氯	2—4
三嗪类除草剂	1—2
2,4滴;2,4,5滴除草剂	0.1—0.4
有机磷除草剂	0.02—0.2

① 半衰期通常是指示化学农药在自然界中的稳定性或残效期。凡施药后，农药的附着量减少一半所需要的时间称为半衰期

涕。不同农作物对同一种农药吸收量也有差别，如对狄氏剂吸收量的次序为花生>大豆>燕麦>玉米。因此研究各类农药被植物吸收、运转、残留和降解作用对于了解农药对植物污染的状况及制订预防和消除污染的措施是有重要意义的。

(1) 有机氯杀虫剂

农田中施用的农药，大部分撒落在土壤上。土壤中有机氯杀虫剂的消长，由于土壤性质和环境条件的不同有很大的差异。在土壤中有机氯杀虫剂消失 90% 所需的时间，以艾氏剂最短，丙体六六六[①] 为中等程度，而滴滴涕和狄氏剂的残效期最长，异狄氏剂和狄氏剂残效期相似(表 2.2, 2.3)。

① 六六六的分子结构式中，由于各原子排列不同，结构式也各不相同，这种有着同样数目的原子，生成结构不同而性质各异的分子，就叫做同分异构体。到现在为止已发现有 8 种不同异构体，如甲体、乙体、丙体、丁体、戊体等，其中以丙体六六六杀虫毒性最大，其它几种异构体几乎没有什么毒性。所以把六六六中的丙体就叫做杀虫剂有效成分（六六六原粉含丙体14%)高丙体六六六含丙体80%，林丹含丙体达99%。

表 2.2 有机氯杀虫剂在土壤中消长状况(1966 年)

杀虫剂名称	处理药量（磅/英亩）	消失 95% 所需年数
艾氏剂	1—3	1—6(3)①
氯丹	1—2(6)	3—5(4)
滴滴涕	1—2.5(10)	4—30(10)
狄氏剂	1—3	5—25(8)
七氯	1—3	3—5(3.5)
林丹(六六六一种含丙体六六六达99%以上)	1—2.5(5)	3—10(6.5)
碳氯特灵	0.25—1	2—7(4)

①括号内为平均年数(1磅/英亩=1.121公斤/公顷)

表 2.3 有机氯杀虫剂在土壤中残存率

杀虫剂名称	一年后的残存率%
滴滴涕	80
狄氏剂	75
林丹	60
艾氏剂	26
氯丹	55
七氯	45

同一种杀虫剂的残留期还因其施用的药剂类型不同而有变化。施用滴滴涕和艾氏剂的颗粒剂，残存率最高，其次为乳剂，可湿性粉剂及粉剂更低。

有机氯杀虫剂在土壤中消失的机制还不很清楚。据目前的研究了解，有机氯除了通过扩散和流失外，渗入土壤中的一部分，短时期内就挥发，土壤表面的温度和湿度的增高以及地表有风，都有助于有机氯的挥发和消失。由于大部分有机氯杀虫剂能溶解于水，但溶解度较低，加上土壤颗粒有吸附杀虫剂的特性，因此虽然它们可随着土壤的渗透水而下渗到地下层，

但下渗量很小，大部分的杀虫剂都分布在土壤表层深度约20厘米左右。

有机氯杀虫剂如滴滴涕和六六六，它们在水田中分解较快，特别是水田处于100%的淹水状态时，丙体六六六的分解要比水田含60—80%水分状态下为快，只须几个星期就可消失90%以上。但是在旱地，在果园的土壤中，六六六不仅残留时间长，而且稳定性强。科学试验证明在土壤中有机氯化合物的脱氯化作用都是在嫌气条件下进行，是嫌气细菌作用的结果。因此在旱田好气条件下，嫌气细菌活动受到抑制，有机氯杀虫剂不易分解，而在水田嫌气条件下，嫌气细菌能积极活动，有机氯杀虫剂通过微生物的分解产生出各类代谢产物，这些分解产物，比原来的化合物毒性低，并且有较高的水溶性，它们可向植物体内渗透和运转。

存在于土壤中的有机氯杀虫剂可以通过植物根部吸收后，渗透到植物的各个部分。水中的杀虫剂可通过毛细管作用而上升到植物体内或通过在水中的植物叶鞘吸收到体内，运转到各个部位。

在喷洒杀虫剂时，一部分杀虫剂就直接粘附在植物体上。农药在植物体上的附着量因植物的叶片和果实的表面构造不同而有差异。粗糙、多毛的叶片和果实比光滑的叶片和果实附着量为大。由于药剂的类型不同，在植物体上的附着量也有差异。通常是按照粉剂、可湿性粉剂、乳剂为序，呈现出附着量逐渐增长的趋势。附着在植物体上的有机氯杀虫剂，一部分可在空中挥发、散失，某些易溶于水的有机氯杀虫剂可随着

降雨的冲刷，容易消失。另一些脂溶性高的有机氯杀虫剂，由于能够溶解于植物表皮的蜡质层内而被固定，即使受雨水冲刷，流失也较少。附着在植物体上的杀虫剂除部分散失外，还可向植物组织内部渗透，渗透在组织内部的杀虫剂可通过植物呼吸作用，又从植物气孔中散失，而且由于酶的作用进行分解代谢，并由于紫外线引起的光分解以及气温和风的影响，使有机氯杀虫剂在植物中逐渐消失。但速度较缓慢。

六六六是国内外常用的有机氯杀虫剂，在水稻田中施用很多。六六六除了通过植物根部进入植物体外，还随着毛细管水沿着叶鞘上升，当水分由蒸腾消失后，就被浓缩，出现高浓度的六六六。根据水稻在幼穗形成时期对丙体六六六吸收率的研究证明，当水中六六六浓度为 4.0ppm 时，在施药 14 天后，水稻茎和叶鞘部分的六六六含量为34.0ppm，叶为4.0ppm。一般在稻草中六六六的残留量最高，约为土壤含量4—6倍，糙米中的残留量与稻草相比则较少，谷壳中的残留量较糙米为高。在糙米中的六六六残留量与施药的剂量、施药与收获期之间的间隔时间(即安全间隔期)有关，变化很大。用放射性 ^{14}C 标记“六六六”可湿性粉剂，在水稻不同生育期喷施后，在糙米、谷壳、稻草中的残留量是不同的，以稻草中残留量最多，谷壳次之，糙米中较少。六六六的残留量随着喷药时间推移和施药次数增加而增加(表 2.4)。以早稻为例，六六六降解的半衰期为 6—7 天。在自然条件下，六六六很稳定，能在食品上长时期的残留，有时可达数月之久，进入人体积累在脂肪组织中不易排出体外。为了保护人体健康，提高瓜果、蔬菜的品质，要

表 2.4　六六六在收割后糙米、谷壳、稻草和土壤中的残留

试验编号	施药时间			施药次数	最后一次施药离收割的间隔天数	C^{14}—六六六的残留量			
	孕穗 6月25日	始穗 7月1日	齐穗 7月7日			糙米	谷壳	稻草	土壤
1	✓	✓	✓	3	21	0.39	4.9	8.5	0.27
2	✓	✓		2	27	0.17	1.7	2.9	0.11
3	✓			1	33	0.12	0.7	1.9	0.14
4		✓	✓	2	21	0.29	2.4	7.6	0.24
5		✓		1	27	0.15	2.0	2.6	0.06
6			✓	1	21	0.19	1.2	4.3	0.06

严格禁止在瓜果蔬菜等收获期短的作物上使用六六六，在大田作物上使用安全间隔期应在 30 天左右。

滴滴涕也是我国广泛使用的农药,用途广,残效期长。对人畜有很强的积累毒性。在农作物、果树及蔬菜上施用滴滴涕,就会有一定量的滴滴涕残留在被喷洒的植物与果实上,这些残毒很容易渗入果实、蔬菜的表皮蜡质层，残留在植物体内。如在茄子上施滴滴涕可湿性粉剂或乳剂时,喷施三次的残留量比喷施一次的要增加一些,但增加量很少。在喷施后一周内残留量急剧减少，而以后减少的速度就比较缓慢。在桔子上施用滴滴涕也有类似情况。在撒药第 14 天桔子上滴滴涕残留量为 1.3ppm，撒药后的 58 天才是该浓度的一半,因此半衰期为58－14 ＝ 44天。所以通常规定在食用作物或果树上,在成熟收获前一个月内,不准使用滴滴涕。并且规定在水果、蔬菜上的残留量不得超过一定数量,如日本规定,滴滴涕在果蔬上的最高残留允许量为0.2ppm。美国规定桔子中滴滴涕残留量为 1 ppm，根据滴滴涕的消长规律，因此在收获前 33 天

内不得施药。

(2) 有机磷杀虫剂

有机磷杀虫剂稳定性差,容易水解,残效期较短,不象有机氯那样能在自然环境和植物中长期存留。但使用过量或某些有机磷杀虫剂在一定条件下,也会较长期地残留(表 2.5)。

表 2.5 有机磷杀虫剂在土壤中的半衰期

农药名称	半衰期(天)	农药名称	半衰期(天)
对硫磷(1605)	180	乙拌磷	290
甲基对硫磷	45	甲基内吸磷	26
甲拌磷(3911)	2	乐果	122
氯硫磷	36	内吸磷(1059)	54
敌敌畏	17		
敌百虫	140		

喷洒在农田中的有机磷杀虫剂,大部分落在土壤上。这类杀虫剂在土壤中的残效期较短,而且受很多条件所影响。例如砂质土壤上,使用有机磷容易被植物所吸收;土壤的湿度和温度增高,土壤中酵母菌活性加强,都可促进有机磷杀虫剂的挥发和分解,使残效期缩短。此外药剂的类型不同,残效期也不一致,一般乳剂的残效期较短,颗粒剂可渗入土层 13.2—16.5 厘米处,残效期较长。

用甲拌磷以每公斤 3.2 毫克的比例拌入某种粘壤土的表层 16.5 厘米,在拌入后以及拌入后的一个月、二个月、五个月分别进行采样,并对其残留物进行全磷分析,测得它们的浓度

含量分别为 0.96，1.42，0.59 和 0.21ppm。保棉磷在土壤中残效期很短，也没有产生有毒的代谢产物。几乎所有的农药，即使每亩使用 2.25 公斤的较高剂量，在 1 年内分解的产物大多已无毒性。二年后，在土壤中仅残留保棉磷的痕迹，保棉磷的代谢产物浓度也降低。

有机磷杀虫剂进入植物体内的途径也可由根部吸收运转，或在水中被植物吸着以及毛细管现象，向植株和果实渗透转移，并在植物体内代谢、分解。植物表面脂肪的性质和厚度对药剂渗入内部的量有很大影响。例如施于桔子上的二嗪农、乐果、马拉松和对硫磷，在桔皮上的残留量为3.1—3.2毫克/公斤，而在桔叶中的残留量仅 0.03—0.2 毫克/公斤。大多数农药在植物上的残留量是低的。用不同品种的有机磷粒剂一次施到水面，在水稻糙米中的残留量以二嗪农为最少，乐果与乙拌磷虽然在接近收获期施药，也仅有少量残留。附着在植物体表面的有机磷杀虫剂可以挥发或经过日光照射而进行分解，因此不少品种在作物上的残效期很短。如敌敌畏、敌百虫等，可运用于蔬菜、茶叶、桑树等收获期较短的植物，而残效期较长的甲拌磷只能用于棉、麦的种子处理。有机磷在粮食、蔬菜和水果中经过几天至 2—3 周即可分解，而内吸性有机磷在植物中，需要经过几周至 3—4 个月才能分解。为了保证食用的安全，对收获前农药的使用必须加以控制(表 2.6)。

(3) 有机汞杀菌剂

有机汞杀菌剂大量地被用于防治水稻稻瘟病，具有效果

表 2.6　主要有机磷农药在食用作物上的安全间隔期(供参考)

农药种类	农产品种	安全间隔期(施药与收获期间隔天数)
对硫磷(1605)	水稻、小麦、大麦等	30天
	果树	30天
甲基对硫磷	水稻、小麦、大麦	15天
	果树	30天
甲拌磷(3911)	只能作棉子、麦类拌种	
敌敌畏	大田食用作物	5—7天
敌百虫	蔬菜果树	15天
	大田作物	10天
内吸磷(1059)	大田食用作物	30天
	果树	42天
	柑桔	60天(只能作喷洒用)
马拉松	蔬菜	7
	大麦、小麦、水稻	5

显著的特点。这类杀菌剂施入水田中,有相当部分被水田中的土壤所吸着。当下雨时,土壤中残留的有机汞不断地被溶出,因此在雨后水中的含汞量增加,特别是在暴雨后,水中汞的含量急骤增高。一般在水田中有机汞的分解速度很快,与其他元素结合,成为难溶于水、并不易为植物所吸收的硫化汞。残留在土壤中的有机汞仅有一部分可被植物根系直接吸收,其比例视各类农药的溶解度大小而定,愈能溶于水的有机汞杀菌剂,根系吸收愈多。进入植物体内后,在植物根系的残留量最高,叶次之(表 2.7)。

有机汞杀菌剂在喷洒时,有一部分直接附着在水稻叶面上,它们可以渗入到叶的组织内部,不仅向刚展开的新叶移动,还可向结实的部分运转,因此在大米中经常存在着有机汞

表2.7　生长在施有赛力散的土壤上的水稻，对汞的吸收量

水稻各部分	汞的残留量 ppm		
	赛力散使用量		
	5公斤/公顷	25公斤/公顷	对　照
糙米(1965)	0.43	0.63	0.05
谷壳	0.20	0.22	0.17
叶	1.00	1.07	0.71
茎	0.41	0.52	0.23
茎的基部 15 厘米处	0.67	3.32	0.23
根	3.73	13.89	0.39
土壤	1.95	13.98	0.27
糙米(1967)	0.09	0.14	0.05

注：以干物质计算。

的积累。在蔬菜和水果中也都可以看到类似的渗透现象。

苹果施用有机汞杀菌剂可由喷药部分转移到其他部分，包括转移到果实上。有机汞不仅可由喷药的叶转移到未喷药的叶内，还可从树皮逐渐逐渐移动进入树根、叶和芽。在果实中的残留汞以果皮和果肉中最高。西红柿的果实也有此特点。利用汞制剂防治土豆病害，开始汞在叶片上积累，并逐步转移到土豆的块茎。喷药的次数与时间对土豆块茎中汞的残留量有所影响。在开花到块茎最迅速生长期之间喷药 4 次的块茎中，汞的浓度高于仅在迅速生长期喷药一次的块茎。汞的化合物还可由土豆根系吸收，并转移到叶中。

用汞制剂拌种，汞可从处理的种子进入生长的幼苗，从用汞制剂拌种所生长出来的作物，它们籽粒中的含汞量大于未处理的作物。

在水稻整个生长期内，喷洒带有标记 ^{203}Hg 的赛力散，^{203}Hg 可侵入植物体内并转移。由于赛力散在水稻上有一定的内导性，因此不论是喷洒或浸种都能被迅速吸收。赛力散进入叶片的剂量受药剂类型的影响。乳剂赛力散进入植物体的量最大，粉剂最低。

在水稻的不同生长发育期，使用同样剂量的有机汞杀菌剂，在水稻中的残留量不同。一般在开花期施药的比在分蘖期的汞残留量高。在水稻开花期施用杀菌剂后，汞的残留量以稻草中最高，谷壳中次之，糙米中最少，喷药次数愈多，则汞的残留量就愈高(表 2.8)，在孕穗期喷洒在水稻上的赛力散，约有 10% 沉积在水稻上，其中有一半进入植物组织内。进入组织内的汞有 5% 是积累在稻谷中。带有 ^{203}Hg 的赛力散进入水稻组织后，它的汞原子可与蛋白质相结合而存在于植物组织中，但它已失去赛力散的原始形式。一般在水稻果实中的汞的残留量以米糠中最高，其次为谷壳和白米(表 2.9)。

表 2.8 水稻不同生育期喷洒带标志 ^{203}Hg 赛力散后各组织中残留量(含微克 ^{203}Hg —赛力散/克干物质)

植株部	喷药时间				
	分蘖期	孕穗期	齐穗期	分蘖期+孕穗期	分蘖期+孕穗期+齐穗期
稻草	1.67	4.08	4.19	5.02	6.99
糙米	0.48	0.92	0.99	1.03	1.43
谷壳	0.84	1.22	2.35	1.27	3.07

有机汞杀菌剂在作物上的残留量还受土壤酸碱度的影响。如用赛力散处理豌豆种子，在下一代种子中含汞量与土壤

表 2.9　用粉剂赛力散施于水稻后，谷粒中汞的含量及分布

不同水稻样品编号	汞的含量(毫克/公斤)				总汞的分布	
	谷　壳	糙　米	白　米	米　糠	糙米中%	米糠中%
1	1.79	0.40	0.18	1.91	49	51
2	1.19	0.60	0.54	2.74	67	33
3	1.53	0.38	0.13	1.66	44	56
4	3.77	1.31	1.04	4.99	80	20
5	3.77	1.31	1.02	5.08	67	33

的酸碱度有关。当土壤酸碱度高时，种子中含汞量较低（表2.10)。

表 2.10　不同酸碱度对作物含汞量的影响

作物名称	土壤酸碱度	不同处理	含汞量(毫克/公斤)
豌　豆	5.6	赛力散	0.162
"		对　照	0.048
"	7.1	赛力散	0.105
"		对　照	0.046

(4) 有机砷和砷素制剂

目前在国内广泛使用的为有机砷杀菌剂，这类农药主要用于防治水稻纹枯病。

我国对稻脚青(甲基砷酸锌)在水稻体内的运转及残留进行了不少研究。水稻施用带有标记 ^{76}As-稻脚青，有机态的砷可被水稻所吸收，进入稻株后，则逐渐降解为无机态的砷。一般稻脚青的可湿性粉剂可用喷浇、拌土或喷雾的方式施到水稻上。在分蘖期喷在水稻上的稻脚青，有一部分沉积在稻株

上，受到日光、空气、风和降水等的影响，不断分解淋洗、逐渐消失。稻脚青对水稻的茎有一定穿透能力，但由于药剂是固体状态(可湿性粉剂)，水溶性又小，因此侵入的剂量是较少的。甲基砷酸锌是具有内吸作用的药剂，涂在叶片上的有机砷杀菌剂均可被叶所吸收和转运，转移的途径是，从被处理叶的叶鞘，向根、茎和其它叶子的各部转移，由于根、茎、叶是运转的途径，砷的积累量时多时少，规律性很差。砷主要集中在生长旺盛处即心叶中。在孕穗或刚抽穗时施药，砷就集中在穗部。水稻主株涂有机砷后，药剂能运转至它的分蘖株上的其它部分，而分蘖株涂药后，药剂很少运转到主株中去，但有一部分可转运到邻近的其它分蘖株上。这与双子叶植物中的运转规律有相似之处。双子叶植物的主株喷药后，它能转移至分枝上，而分枝上喷药后则较少运转到主株上。由于稻脚青是固态的粉剂，被水稻吸入的剂量较少，进入植株后的稻脚青在植株内的运转和扩散也是缓慢的，而且还受植株内生物化学变化的影响，不断地被转化、分解，残留量不断降低。

稻脚青可用拌土的方式防治水稻纹枯病。土壤对稻脚青有一定的吸附能力，水稻的根系也有吸收土壤中存在的稻脚青的能力，但速度非常缓慢，在不同生育时期，根系吸收药剂的能力也不一样。在水稻乳熟期，用稻脚青灌入土内(100毫升/钵)，施药后7—9天，根系尚能从土中吸收药剂，运转至稻谷，黄熟期同样处理的稻谷中就没有这种现象。在生长时期，根系从土中吸收有机砷后，也向心叶中转移，但速度相当缓慢。

稻脚青在水稻上的半衰期较短，早稻在分蘖末期至孕穗

初期施药，在稻叶上砷的半衰期12天左右。晚稻半衰期稍长，在分蘖期施药，半衰期约15天。

在食用作物上，砷的残留量各国标准不同从0--7毫克/公斤。大多数国家根据作物的种类不同，允许的最高残留量为1—3.5毫克/公斤。根据有机砷在作物体上的运转、残留的特点，有人建议把稻脚青每次施用量控制在每亩2.5两以下，安全间隔期为35—45天左右，这样水稻成熟后，稻谷中砷的残留量可在容许的最高残留量以内。

无机砷制剂使用比较广泛的有砷酸铅和砷酸钙等。这是常用的杀虫剂。这些农药使用多年后，砷会在土壤中大量累积达到毒害植物的程度。

砷酸铅无论在喷洒容器中或在枝叶上，它的稳定度比其它砷素化合物为高，砷的水溶性小，也不易受大气作用的影响，残效期长。这种农药一般采用喷雾法而不用喷粉法。用喷雾法使药剂在植物体上的粘着性大，但它比起砷酸钙和其它砷素化合物，含砷量较低，但因其含铅量较高，更有使人中毒的危险。通常一次使用砷制剂的效果可能持续两年或更久，或是直到所有喷有砷制剂的叶子落完为止。无论何种砷制剂都不能在柑桔树上应用，因为这种药剂有减弱果实正常酸度和增加固体物总含量的趋向，以至严重损害果实的香味。砷素在植物体内有积累的特点，如桃叶很容易感受砷素的伤害，其最低忍受的浓度（以 As_2O_3计）为0.0012%，即使用药量小于其忍受浓度，但重复喷洒多次，也能引起药害。任何类型的砷制剂在柔嫩的叶片上有可能发生药害，此外砷制剂还可能从植物的

破损处和皮孔等侵入植物体内，同样也可能损害枝干或根部。

无机砷农药若连续多年大量地使用，会使土壤中的含砷量达到植物中毒的程度。如有的果园由于土壤中砷的毒害，只能种植抗毒性强的植物如石刁柏、土豆、西红柿、烟草、葡萄等。生长在含有大量砷素的土壤上的桃树，因从土壤中吸收砷，积累在叶片上，而受害脱落。受害的干叶片，含砷量达 2ppm以上就表现有伤残症状。在被喷药的树下近地面 0.32米的土壤中有砷的积累。又如在 0.4公顷的小麦、大麦田中经常施用 9—15.5公斤的砷酸铅杀虫剂，能使这些麦田周围草地上放牧的牛羊出现砷中毒，麦秆在收获后的含砷量为 3.7—4.76ppm。

为了减少无机砷农药在作物体内的残留，必须重视砷制剂的用量及安全间隔期(表 2.11)。

表2.11　作物使用无机砷制剂的安全间隔期(供参考)

砷制剂类别	作物品种	安全间隔期	使用次数限制
砷酸铅(乳剂)	南瓜，黄瓜，西瓜	开花以前	
	甜瓜，茄子，西红柿	开花以前	
	柿子椒，辣椒	开花以前	
	柿子，梨	45天	1
	柚子	150天	3
	苹果	60天	1
砷酸钙(可湿性粉剂)	瓜类	开花以前	
砷酸钙(粉剂)	西红柿	开花以前	
砷酸钙(可湿性粉剂及粉剂)	土豆	收获前7天	3
	夏橙，日本梨	不用	
	桃，葡萄，苹果	不用	
	草莓，菠菜	不用	

三　植物在环境保护中的作用

毛主席教导我们:**“马克思主义的哲学认为,对立统一规律是宇宙的根本规律。”**辩证唯物主义认为任何事物都有二重性,如前所述,环境污染会危害植物,但反过来植物也能改造环境,只要发挥人的主观能动性,因势利导,就能化不利因素为有利因素,使植物在环境保护中产生巨大的作用。

植物有调节气候的作用。在工厂区进行绿化造林,种植各种灌木、草本,使绿树成荫,绿茵铺地,就可以改变区内的小气候,使工业生产有合适的小气候条件。通常在林地内部,白天和夏天的温度比空旷地为低,而在夜间和冬天则高。这是因为太阳辐射到树冠,一部分热量被反射到天空中去,大部分被树冠和草被所吸收,用于蒸腾散热,只有一部分透过树冠投射到地面。因此在树木成荫的地方,夏季近地面处的气温就比较低,树冠愈浓密,遮阴面愈宽,降温效果也愈显著。而且由于树冠的遮盖,地面的散热作用比较缓慢,因此晚上的温度较高,昼夜的温差比空旷地为小。植树造林不仅有降温作用,而且能提高绿化区空气中的相对湿度。植物具有截留降水(雨水、雪水等)和保持水分的作用,减少水分从地表流失。植物所截留的雨水除了一部分作为地下水流出外,另一部分由植物的蒸腾作用和植物、地面的蒸发而散出。但是由于林内有

植物层的复盖和阻挡，加上由于林木遮荫，光照减弱，气温降低，温差较小，平静无风等条件的影响，蒸腾和蒸发出去的水分大部分保持在林内，所以空气中的相对湿度较高，因此，植树造林，厂区绿化能改变地区的小气候。

植物防治环境污染方面有显著的作用。通过植物对各种污染物的吸收、积累和代谢作用，选择吸收污染物能力强的植物可以净化有毒气体，粉尘和污水；保证大气中氧气和二氧化碳的平衡。根据植物对不同污染物质的不同抵抗能力和敏感程度，选出抗性植物和指示植物，用于工厂的绿化造林和监测预报污染状况。

（一）植物对大气污染物的吸收、净化作用

有毒气体不仅严重影响人体健康，还能破坏森林，毁灭庄稼，影响工农业生产。目前为了减少环境污染，主要是采取改革工艺流程，综合利用或回收工业废料等措施。但采用这些措施仍不能完全消除环境污染。因此，生物防治，特别是利用植物的吸毒、吸尘、转化和还原有毒物质的净化大气能力，已引起人们的重视。

1. 植物是二氧化碳的吸收者，氧的天然加工厂

动物和人类时刻都要吐故纳新，吸进氧气，呼出二氧化碳，燃烧过程也是一样，如果大气中的氧得不到补充，二氧化

碳逐渐增多，动物和人类的生存岂不是要受到威胁吗？但实际情况不是这样。自然界的绿色植物通过光合作用，吸收二氧化碳放出氧气。当然，植物也要进行呼吸作用，但它的光合作用比呼吸作用大20倍左右，所以绿色植物是产生氧气的“工厂”。

据计算，每年被地球上全部植物所吸收的二氧化碳为 93.6×10^9 吨。世界上的森林是二氧化碳的主要消耗者，通常一公顷阔叶林每天可以吸收一吨二氧化碳，放出 0.73吨氧，只要 10 平方米的森林，就可以把一个人一昼夜呼出的二氧化碳吸收掉。生长茂盛的草坪，在光合作用过程中，每平方米上一小时可吸收 1.5克二氧化碳，按每人每小时呼出的二氧化碳约为38克计算，只要有 25 平方米的草坪就可把一个人白天呼出的二氧化碳吸收掉，加上夜间植物呼吸作用所增加的二氧化碳，则每人有 50 平方米的草坪面积，即可保持整个大气含氧量的平衡。千百年来，大气中氧和二氧化碳含量能保持相对平衡，“功劳”要归于绿色植物。

2. 植物能吸收二氧化硫

植物具有吸收硫的能力。将植物置于含有少量二氧化硫的气体中，人们发现植物吸收硫的量明显地随着供硫量的增加而增长。这种吸硫作用通常表现为·随着硫代谢的进行，植物的含硫量亦将增加。例如，西红柿的吸硫量，与二氧化硫的浓度成正比。当大气中二氧化硫的浓度逐渐增加，会使 1

克植物干物质吸硫量达到饱和，饱和量与所供给的硫的比值率为4%。在受二氧化硫污染的工厂附近，一些树木的含硫量都高于清洁区同种树木的含量。例如垂柳和臭椿在污染区含硫量分别为2.959%和1.246%，清洁区1.936%和0.233%，加杨在污染区为2.066%，清洁区0.721%，洋槐和云杉在污染区分别为1.124%和1.437%，在清洁区含量为0.033%和0.044%。这进一步说明植物中含硫量与大气中二氧化硫的浓度有一定相关性，也表明这些植物吸硫能力较强。但是，各种植物吸收和积累硫的能力是有很大差异的。在同一污染源附近，垂柳和法桐叶片中的含硫量可比银桦高出3—5倍。而且法桐的吸硫速度也较快。柳杉也是吸硫能力很强的树种，以干物质计算1公斤柳杉叶每月能吸收二氧化硫3克，按每公顷柳杉林生长干柳杉叶20吨计算，一公顷柳杉林每月可吸收二氧化硫60公斤。果树中，柑桔叶吸收二氧化硫能力很强，其吸收量为0.77%。此外，山楂、板栗、夹竹桃、丁香、枫树、梧桐、黄瓜、菊花、芹菜都是吸硫能力较强的植物。

植物体内含硫量还因季节不同而有变化。落叶树种的叶片二氧化硫的含量通常是夏秋季高于春季，这说明从春季到秋季植物叶片不断吸收、积累二氧化硫。如杜梨叶中春季含硫量为0.112%，夏季增高到0.639%，秋季则为0.960%。毛白杨也有类似情况，秋季叶片中二氧化硫的含量比春季高1倍多。在常绿树中，一般老叶（二年或三年生）比新叶（当年生）二氧化硫含量高，在不同季节中，以冬季叶片含硫量最大，如侧柏冬季叶片的含硫量比夏季约高五倍。

地衣是能够从大气中积累较大量硫的低等植物。一棵大枫树的树皮含硫量为 190ppm。当在树皮上覆盖了一层能忍耐污染的地衣,含硫量则增加到 402ppm。

植物对二氧化硫的吸收能力与其对该气体的抗性不完全一致。有的植物吸收少量硫化物，但抗性强。有的植物能吸收较多硫化物，但抗性中等。一般对二氧化硫敏感的树种吸收量小,抵抗能力弱。如银杏、油松都有这种特点而像垂柳、臭椿、洋槐等吸硫能力与抗性均较强。又如小叶黄杨、华山松和侧柏,虽然叶片吸硫量不很高,但抗性很强。在选择净化树种时应把净化与抗污染的能力两者结合起来加以考虑。

3. 植物能吸收氟化物

在自然情况下,植物组织内都含有一定量的氟化物,植物的含氟量是0.1—25ppm，一般为 10—20ppm。不同植物的天然含氟量变化很大,而且受生长地土壤中含氟量的影响。茶、油桑、桑叶等能从土壤中吸收氟，叶片的自然含氟量就较高,如茶的幼叶中含氟量为 40—150ppm，老叶中含量达 400—820ppm。

大气中的氟主要为叶所吸收,转运到叶尖和叶缘;很少从叶转入到茎，或再从茎运输到根部。植物体内叶的含氟量通常较茎部为高。大气中的氟化物很少被茎所吸收，只有某些植物如紫花苜蓿的茎部含有叶绿素,才能吸收部分氟化物。把一株紫花苜蓿的顶部、中部和基部的叶和茎分开,即对最幼小

部分及最老部分分别进行氟化物含量的测定，发现茎、叶的氟化物含量与植物器官的年龄有关，也就是与植物受氟化物污染的时间长短有关。叶子的氟化物含量高于茎部，基部茎、叶的氟化物含量高于顶部。植物根部所含的氟化物是直接从土壤中吸收的。

空气中的氟化物主要被植物叶片所吸收，因此，氟的污染首先使植物叶片中含氟量增高几倍到几十倍。叶片中所富集的氟含量与排放氟气的工厂距离远近和风向有关。在离工厂近的向风处生长的植物体内，氟的含量一般较高，但也因种类不同而异。如离某磷肥厂高炉 10—30 米范围内生长的植物，叶片中的含氟量，桑叶为 1725ppm，滇柏 2000ppm，拐枣 3850 ppm，垂柳 5100ppm，这些植物叶片的含氟量是惊人的。但在同样条件下生长的银桦、乌桕和蓝桉，含氟量 250—630ppm。在离高炉东南 200—400 米处的桃、葡萄、石榴、苹果、梨等叶片的含氟量在 100—300ppm 左右。污染地区蔬菜的含氟量变化也很大，如南瓜、茄子、扁豆含氟量为 35—60ppm，而白菜含氟高达 200 多ppm。叶菜类含氟较高，瓜菜类含氟较少。

植物对低浓度氟化氢有很大的净化作用。西红柿叶子每公斤可吸收3000微克的氟，扁豆吸氟量比西红柿大三倍，柑桔叶子含氟量可达 113ppm 而不受害。植物叶片的含氟量还因季节而有很大变化。如滇杨在春季每公斤干叶中含氟量为 450 毫克，夏季达 2000 毫克，到了十月份高达 3700 毫克，拐枣的叶子秋季含氟量比春季高三倍。银桦、蓝桉、杏树都有类似情况。总之各种植物在一年内随着时间的增进，体内含氟

量不断增加,一般秋季大于夏季,春季含氟量最少。

植物的吸氟与抗氟的能力有的是一致的，但有的又相矛盾。通常叶片中吸氟量多的植物，具有一定抗氟气污染的能力。抵抗氟气能力弱以致受害严重的种类，体内的含氟量往往不高。如拐椠、油茶虽然在在污染严重地区生长,体内含氟量很高,但生长正常，无受害的症状，充分显示这些植物具有强大的净化和抗氟气的能力。云南松在离污染源较远的山坡上生长,体内的含氟量约为 50ppm，但受害病斑却十分显著，占整个针叶的三分之一至三分之二。又如大蒜在污染地区含氟量可高达 850 多 ppm，但抗性很差,全部受害。这进一步证明吸氟能力与抗性大小不是完全一致的。

4. 植物能吸收氯气

受氯气污染的地区，一般树木的叶子都有吸收积累氯的能力。但不同树种在相似的的环境条件下，叶子吸氯量是有不同的。在离污染源 2000 米范围内生长的各种树种,蓝桉每克干叶中含氯量为 8.13 毫克，洋槐为 3.31 毫克，银桦为 6.39 毫克。同种植物由于离污染源距离不同，体内的含氯量也有变化，如生长在离污染源较近处的蓝桉，每克干叶含氯量为 12.82 毫克,洋槐为 16.68 毫克,银桦为 13.72 毫克。远离污染源生长的上述植物,一般含氯量在 0.5 毫克以下。这可初步说明污染区叶片中含氯量增加与大气中氯浓度有关。植物可以从大气中吸氯。根据对不同树种吸氯能力的初步研究，以每

公顷阔叶树林叶量为 2.5 吨(干重)估算,生长在离污染源 400—500 米处的树木,如洋槐、银桦和蓝桉每年可吸收几十公斤氯气。从叶片吸收和积累氯的能力来看,阔叶树大于针叶树,有时可相差达十几倍之多。

在高浓度氯气的污染下,通常吸氯能力强的植物,抗性很差,很快出现受害症状。银桦和法桐是吸氯较多的树种,短时间就会表现出急性中毒症状,桃树也较易受害。棕榈对氯气的吸收量较小,抗性较强,受害症状不明显。但是植物对氯的抗性并不决定于其吸收量。净化能力强的树种有垂柳、银桦、女真、滇朴、黑枣、蓝桉、洋槐、法桐、桃树。但它们的抗性却有强有弱,前七种抗性较强或中等,后二种抗性较弱。

5. 植物是天然的吸尘器

大气除受有毒气体污染外,粉尘也是主要污染物质之一。个别的粉尘颗粒虽小,但它的总重量却是惊人的。地球上每年的降尘量,据统计达 1×10^6 至 3.7×10^6 吨。许多工业城市每年每平方公里降尘量平均为 500 吨左右,个别城市甚至高达 1000 吨以上。

工厂排放的烟尘中有烟、碳粒和铅、汞、镉等金属粉尘以及尘埃等。植物有过滤空气和吸附粉尘的作用。有些植物叶表面多皱纹,如大叶榆;有的树叶表面粗糙,如荚蒾;有的叶表面有绒毛,如沙枣;有的树木能分泌油脂,如松树等。这些特征,都有利于阻挡、吸附和粘着粉尘。覆盖有粉尘的叶子,经雨

水冲洗后，又有过滤粉尘的作用。据报道，烟草吸收千分之四点七的汞时只出现轻微伤害。常春藤、冬青也有吸收和净化化汞的能力。森林比单株植物效率更高，一公顷高大森林的叶面积总和比其所占面积大 75 倍。

各种绿化树种都有一定的吸滞粉尘能力，不同种之间可相差十几倍到几十倍，考虑各种树的滞尘能力，应根据叶片的滞尘能力及全树总叶面积大小来决定。一些树种阻挡灰尘的百分率为：

树种	百分率	树种	百分率
山毛榉	5.90%	橡　树	7.15%
鹅耳枥	7.92%	白　蜡	8.68%
花　楸	9.99%	白　桦	10.59%
杨　树	12.80%	洋　槐	17.58%
松　树	2.32%	冷　杉	2.94%
落叶松	4.05%	云　杉	5.42%

树木叶片单位面积的滞尘量不同，有人测定 38 种树种中以榆树最高，滞尘量为 12.27克/平方米、朴树 9.37克/平方米、木槿 8.13/平方米、广玉兰 7.10/平方米、重阳木 6.81 克/平方米，最低为绣球只 0.63 克/平方米，滞尘量的大小和这些植物叶片的大小、表面的粗糙程度以及叶片着生角度等因素有关，一般叶片宽大，平展，硬挺而风吹不易晃动，叶面粗糙有利于吸滞较多的粉尘，如柃树、朴树、木槿叶面粗糙；广玉兰叶片宽大；女贞、大叶黄杨叶片硬挺，风吹不易抖动，刺楸叶片平展而略下凹，滞尘能力都比较强。而加杨叶面比较光滑，叶片下倾，且叶柄细长，风吹容易抖动，滞尘能力便较低。

一般来说，阔叶树比针叶树吸尘能力强。例如，每公顷山毛榉林阻挡粉尘的总量为68吨，云杉林32吨，松树林36.4吨。若从单位面积的滞尘量看，不同树种之间也有明显的区别。在同样污染条件下，榆树每平方米叶面积的吸尘量为3.93克，丁香为1.61克，小叶椴为1.32克，尖叶槭为1.652克，杨树为0.55克。即不同树种间吸尘能力相差可达6倍。

在有森林和绿化的地方，空气的含尘量均较无林或裸露地为低。例如，根据广州测定的数据，在五爪金龙绿化的地方与无绿化的地方比较，空气含尘量低22%；在大叶榕绿化的地方比无绿化的地方含尘量少18.8%。在绿化的街道上，树下距地面1.5米高处的空气，含尘量较未绿化的地段低56.7%。如某工厂附近绿化的树木能使降尘量（较大颗粒的粉尘）减少23—25%，飘尘量（较小颗粒的粉尘）37—60%。

绿化树木减尘的效果因林带的高度、宽度和密度等条件而不同，一般林带高、宽而密度大，则减尘的效果越大。如高大浓密的法桐林带减尘（特别是减少飘尘）的作用就比较大，减尘率达35%，而较稀疏矮小的刺槐林减尘率只29.7%。

所有林木都有吸尘的作用，但吸尘的效率，决定于树种、绿化面积和种植的密度；另一方面也随生长季叶子数量的变化而有所不同，但即使在树木落叶时期，林木仍保持相当的吸尘能力。

此外，可利用苔藓做成的集尘罐净化空气烟尘中含有锌、铅、镉等有害微粒，利用植物收集烟尘的最大好处是可以化费较少的人力、物力而得到更精确的数据。英国有人利用“标准

苔袋”作为简易的生物仪器来收集烟尘，由于苔藓植物表皮无角质层，本身就是一种很好的离子交换材料，能牢固地持留尘粒中的金属，能收集小于五微米的粒子，是很好的吸尘植物。

6. 植物对放射性物质的作用

放射性污染物的扩散与地形、地物有很大关系。森林作为一种地物，不但可以阻隔放射性物质和辐射的传播，而且可以起到过滤和吸收的作用。据研究，针叶林和阔叶林对放射性散落物的净化能力和净化速度有不同特点。阔叶林对于放射性散落物的净化能力比常绿针叶林高得多，三个月后，阔叶林的林冠内部和上部，伽玛（γ）射线的剂量比针叶林内低两倍。常绿针叶林净化放射性污染物质的速度也比阔叶林慢。栎树可以吸收 15000 拉特① 剂量的中子——伽玛射线的混合辐射，而生长不受影响。

（二）植物对大气污染的抗性

各种植物对有害气体的抗性有很大差别，有的植物在很低的浓度下就会受害，而有的植物，即使有毒气体浓度较高下也不受影响或受害很轻。一般来说，木本植物比草本植物，阔叶树比针叶树，常绿阔叶树比落叶阔叶树抗性强，萌发能力强

---

① 拉特是吸收剂量的单位，1 拉特相当于 1 克物质吸收 100 尔格的电离辐射能量

的植物抗性也强。

一般幼龄树和新生的叶抗性强，而高大老龄树和老叶的抗性差，易受害。

植物的抗性强弱与叶面积、叶片厚度，以及叶片单位面积气孔数目多少有一定关系。一般来说，叶片厚度大、具角质层，单位面积气孔数目少的种类，抗性较强，如印度榕、垂叶榕、高山榕、洒金榕的叶面积上的气孔，每平方毫米分别为20.7个、2.39个、28.5个、24.4个；而抗性较弱的华南朴、厚壳、福建茶、铁刀木，气孔数目为65—100个左右。具有小型叶或羽状复叶的叶面积很小的植物，抗性都较弱。

不同种类的植物叶片气孔，在毒气条件下开放程度并不相同。

有些科属的植物具有乳汁或特殊的汁液，如桑科、大戟科、夹竹桃科等，这些科、属的许多植物都表现抗性较强。

在气温高的情况下，树木易受毒气危害，反之则轻。表现为夏季重，春秋轻，在树木生长旺盛时期受害较重。

在农作物或树木中，能抵抗一种或几种大气污染物质的种类不少。对二氧化硫抗性较强的农作物如玉米、山芋、油菜，若同样浓度的污染，产量降低要比大豆、豌豆，特别是蚕豆来得少。

农作物的抗性与其物候期有密切关系，例如在不同的生长阶段，用同样浓度的二氧化硫对蚕豆、豌豆进行熏蒸，其受害面积百分比是不同的。又如玉米被 0.5ppm 的二氧化硫熏蒸4—8小时不受危害；棉花被 0.05ppm 的氟化氢熏蒸 4—8 小

时也不受害。利用这种特性，在工厂附近栽种相应的抗性植物，既能绿化环境，避免大气污染对农业的危害，又能保证工业生产的正常进行。现将对几种主要污染物抗性较强的农作

表 3.1　植物对有毒气体抗性分级表

	抗　性　强	抗性中等	抗性弱
二氧化硫	臭椿、女贞、旱柳、中国槐、构树、洋槐、栾树、桑树、丁香、冬青、枳壳、夹竹桃、沙枣、海桐、大叶黄杨、桧柏、银杏、苦楝、法桐、柑桔、棕榈、印度榕、高山榕、洒金榕、合欢、小叶青岗、栎树、小叶榕、人心果、蝴蝶果、芒果、芹菜、玉米、黄瓜、葫芦、土豆、香瓜	五角枫、木槿、柳树、黄连木、刺柏、白蜡、葡萄、冷杉、南蒲桃、海南红豆、聚果木、米老牌	杨树、泡桐、棠梨、苹果、香椿、文冠果、华山松、红苋木、铁刀木
氟化氢	冷杉、旱柳、丁香、洋槐、桧柏、红柳、沙枣、女贞、大叶黄杨、柑桔、百日红、梧桐、向日葵、美人蕉、蓖麻、烟草、樱桃、李、南瓜、辣椒、棉花、月季、菜豆、拐枣、油茶、垂柳、乌桕	青岗、五角枫、泡桐、刺槐、棠梨、法桐、柳树、砀山梨、青香蕉苹果、金帅苹果、桃、蓝桉、滇杨	杨树、刺柏、核桃、臭椿、白蜡、葡萄、杜仲、白皮松、华山松、软枣
氯　气	黄杨、女贞、海桐、臭椿、合欢、柑桔、棕榈、夹竹桃、青岗栎、广玉兰、板栗、槲栗、麻栗、天竺葵、印度榕、梓叶树、人心果、海南红豆、蒲桃、牛乳树、蝴蝶果、桂花、九里香、洒金榕、茄子、玉米、烟草	槐洋、柳树、构树、苦楝、刺槐、胡颓子、菩提榕、华南朴、含笑、阿珍榄仁、柯甫木、黄檀、榄仁树	法桐、杨树、梨树、刺柏、白蜡、软枣、杜仲、棠梨、油松、孔雀豆、钝叶梓、山指甲、黄花夹竹桃、白楸、珊瑚树、夜来香
臭　氧	银杏、青岗栎、天竺桂、柳杉、胡椒、唐昌蒲、海桐、薄荷		
过氧酰基硝酸盐	萝卜、棉花、高粱、洋葱、玉米、杜鹃、黄瓜、甘蓝、秋海棠		

物和树木如表3.1。

（三）植物对大气污染的监测

监测污染状况是环境保护工作的一个重要环节。为了弄清大气污染的性质、范围和程度，要定时定点大量地采集空气样品，用化学或仪器分析的方法进行测定。由于废气的排放、污染物浓度，气候条件经常有变化，要掌握大气污染程度的全面情况和平均水平，必须设立很多监测站，取得大量数据，任务是十分繁重的。有些国家采用自动监测装置解决这个问题，但是投资很大，不能普遍应用。因此人们采用对大气污染物敏感的植物作为警报器，根据它们的受害症状来监测大气污染状况，也可利用树木叶层中污染物含量变化，监测大气质量。

植物监测简便易行，便于推广和发动群众，因此，值得重视，当然，利用植物监测，要精确确定污染物的含量是有困难的，但它也有其优点，可以作为仪器监测的辅助手段。高浓度的污染会使敏感植物很快产生急性受害，对人们发出警报，低浓度的污染利用仪器测定有时比较困难，可通过对叶片分析，进行监测。

1. 二 氧 化 硫

利用植物作为二氧化硫的监测器，首先要根据处于生长

阶段的叶子所表现的症状来判断。这是由于这些生长旺盛的叶片气孔张开得大，气体交换频繁，进入叶内的二氧化硫亦多，因此最为敏感。嫩叶和生理活动衰退的老叶，受害较轻，只有在二氧化硫浓度很高的条件下，才会出现可见的症状。

植物叶片受二氧化硫危害的症状是，叶片出现白色“烟斑”，逐渐枯萎，并且早期落叶；或者在叶脉之间或叶缘出现明显的坏死组织。一般受害症状出现在气孔多的叶子背面，但在二氧化硫浓度较高时，叶片从背面到表面都会出现症状。

紫花苜蓿和芝麻是经常被用来作为二氧化硫的监测植物。这些植物在二氧化硫浓度 1.2ppm 下，暴露 1 小时就发生可见症状，若浓度在 20ppm 下，暴露 10 分钟即出现症状。棉花也是敏感的种类。

水稻是比较容易受害的种类，当发现水稻叶片变成浅绿色或灰绿色，并且逐渐萎蔫，或在叶面上出现芝麻般的白色斑点，随后全叶褪成白色，叶尖卷曲，这些现象表明水稻已受到高浓度二氧化硫的污染，产生了急性受害症状。受害的谷粒部分或全部变为白色，秕谷多而谷粒小，若受害时间延长，茎秆也会变成白色，甚至全株死亡。

在麦类作物中，大麦、荞麦、黑麦对二氧化硫最为敏感，小麦则次之。当麦类叶子变为浅褐色或褪成白色时，标志着已受气体的危害。麦芒也是植物的敏感部分，特别在污染浓度很低的条件下，麦芒首先产生反应，因受害而变白。

蔬菜中对二氧化硫敏感的种类较多，比较灵敏的监测植

物有西红柿、扁豆、黄瓜、茄子、萝卜、葱、莴苣和菠菜、南瓜。可以根据叶片是否出现受害斑点来判断污染状况。如萝卜、白菜、菠菜和辣椒等是以出现白色伤斑为特点(图 3.1);大蒜、洋葱、韭菜、油菜、葱、黄瓜、扁豆、大豆、四季豆、豌豆受污染则出现浅黄色斑点(图 3.2)。茄子、胡萝卜、南瓜、甘薯和土豆、西红柿则呈现褐斑,通常蚕豆、绿豆等受害,叶片出现近似黑色的斑点。

果树中李、葡萄、桃比较敏感。果树受害时,叶片大多出现白色或褐色斑点。葡萄在叶片的中部会出现赤褐色斑点。一发现叶片出现上述症状,应立即采取措施,特别在开花及幼果期受害,会影响果树的产量及质量。

针叶树中的落叶松对二氧化硫特别敏感,很容易出现受害症状,而且稍一受害,就会落叶。雪松也是一种比较敏感树种。红松与黑松比较,红松的抗性显然较差。在远离二氧化硫污染源的地区,黑松不受危害,红松则出现赤褐色病斑,但在二氧化硫污染源附近,黑松、红松都会受害。

阔叶树一般对二氧化硫的抗性较强,可作为监测大气污染的树种比较少。一般认为枫杨、杨树、泡桐、木棉、番龙眼、红苞木、竹柏、羽花柏、梧桐、安息香等对二氧化硫是比较敏感的。一旦受害,在叶脉间出现受害白斑或褐色斑块,严重时,使叶片形成很多腐蚀孔或在叶缘上形成不规则的缺刻,或使整个叶片脱落。

除上所述,可作监测植物的还有酢浆草、芥草、繁缕、三叶草、田旋花、皱叶酸模、大车前、甜菜、甘蓝、羽扇豆、向日葵、桦

木、椴树、小叶桑、云杉、柳杉、核桃等。

苔藓植物对二氧化硫非常敏感。附生苔藓由于体形小，生长缓慢，叶片多为单层细胞，污染物质可从叶的两面直接侵入叶细胞，每个细胞所受的平均浓度大于其它高等植物。一旦受害不易恢复，它附生于树干上，不受土壤或其它基质中酸碱度变化的影响，对环境的微小变动非常敏感，比体形高大、内部组织构造复杂的高等植物，对大气污染的反应快，如大部分常绿树用 0.4ppm 的二氧化硫气体熏蒸，100 小时后肉眼未见受害，而同样浓度的二氧化硫对苔藓熏蒸几十小时即枯死。二氧化硫平均浓度高于 0.154ppm 将对当地的苔藓和地衣产生急性伤害，界于 0.087—0.154ppm 之间，引起慢性损伤。

苔藓对大气中的有毒物质的灵敏度与其不同的生态类型相关。从垫状——层状——交织生长——叶状体苔类或附生苔藓，敏感度逐渐增加。如通常成大片生长或垫状丛生的金发藓科植物与成层生长的塔藓科植物，对大气污染的反应较弱，而树干附生的木灵藓科植物反应较强，叶状体苔类的蛇苔科植物反应特别强。

由于苔藓植物对二氧化硫敏感性强，可以通过它显示的受害症状，预报大气中二氧化硫的污染。

2. 氟 化 物

植物受氟化物危害特征是叶缘和叶尖组织坏死，坏死部分颜色成为浅褐色或褐红色不等。另一种常见症状的伤害沿

着叶缘伸展，与未受害部分有明显界限，或是斑点状受伤，即健康组织包围受害部分。根据植物叶片上出现的症状，可以用来监测氟气的污染。

目前比较公认的氟气监测植物为唐菖蒲，它是一种观赏用的草本植物，对氟化物极为敏感，通常把它放在工厂内外，一旦有氟气污染，叶片的尖端和边缘就会产生淡黄色片状伤斑，受害部分与正常组织之间有一明显的界线，表现出受氟气危害的典型症状，是一种较灵敏的警报器。但在利用这种植物时，还要注意因其品种和个体不同，它的敏感性亦有差异。如把二种不同品种的唐菖蒲同时放在离污染源700米处，当开淡黄花的唐菖蒲叶片有87%受害时，而红花品种则未见任何受害症状，可见在应用时，要注意品种的选择。与唐苍蒲有相似作用的观赏监测植物还有郁金香。

雪松是一种有希望的氟气监测植物，特别在春季，新叶萌发时，对氟化物最敏感，当针叶出现枯黄时，它告诉人们附近有氟化物或二氧化硫的污染。此外，云南松和落叶松也被认为是敏感的针叶树。

在果树中杏、樱桃、李、玫瑰香葡萄比较敏感，苹果次之。果树受害表现在叶缘部分，若氟气的侵袭是分阶段相继发生，则坏死部分表现为同心圆圈，通常坏死部分很少脱落，但容易卷曲。坏死部分能逐步蔓延到整个叶面，仅在沿叶片的主脉处留下一小块绿色的组织。

作为监测植物通常用草本比较简便，除了唐菖蒲、郁金香外，值得提出的还有玉竹、繁缕、藜、萱草、反枝苋。从植物的科

属特点来看，蓼科、藜科、石竹科、小蘖科、蔷薇科、葡萄科植物对氟化物比较敏感，禾本科植物中的鸭茅属、羊茅属的有些种类，即使对极微量的氟气也会产生反应。木本植物中山茶、山杏、法桐、柏树和刺柏也都是较敏感的种类。

氟化氢可使苔藓植物的色泽由绿色、黄绿色变为褐色、黑褐色，叶细胞质壁分离，叶绿素甲减少，呼吸率下降，而胡萝卜素增加，可作氟气的监测植物。

3. 光 化 学 烟 雾

光化学烟雾主要由几种气体对植物产生危害。二氧化氮和臭氧产生的危害症状是使叶表面出现斑点和漂白区。过氧酰基硝基盐的危害会使植物的叶片背面变成古铜色、银白色和透明状。

烟草较广泛地被用作光化学烟雾的监测植物，特别用来指示臭氧的污染。在整个生长季节中，它能连续产生新叶，不同年龄的叶子对臭氧的敏感程度不一，新的伤害很容易与旧的伤痕区别开来，人们可以在离污染源不同距离的地点，种上烟草，用来监测光化学烟雾的分布，发生的频度和危害程度。烟草由于品种很多，在应用时要注意品种选择。早熟禾和牵牛花对监测光化学烟雾也有良好效果。

谷类和蔬菜中大麦、小麦、燕麦、玉米、土豆、蚕豆、四季豆、花生、洋葱、西红柿、黑麦、莴苣也较敏感。其他还有紫花苜蓿、三叶草、石竹、矮牵牛、丁香、山荆子、女贞、垂柳等。通

常草本比木本植物更为敏感。

4. 氯和氯化氢

氯和氯化氢引起的植物受害症状是叶片出现脱绿斑点或叶色呈浅黄色、灰白色、成漂白状以至透明。利用植物受害症状监测氯气污染，主要应观察对氯气伤害最敏感的中龄叶，其次为老叶，幼叶对氯气的污染不太敏感。

紫花苜蓿、菠菜和萝卜是对氯气很敏感的种类（图 3.3），甚至在氯气浓度低达 0.1ppm 时，延续 2 小时就会产生受害症状。西红柿也是一种敏感植物，在低浓度条件下，也会产生反应。秋海棠、樱桃、梨、蔷薇、洋葱、萝卜、向日葵、荞麦对氯气污染也较敏感。

根据工厂附近栽种的法桐、杨树和刺柏的生长状况，也可监测氯气污染情况。长期污染会使枯枝增多，有时仅顶部新叶保持绿色。对氯气敏感的树种还有铁刀木、沙罗、厚壳、落羽松、红苞木、琴木、米老牌、羽花柏等。

影响植物对大气污染监测作用的因素很多，如光强度、温度、湿度、风向、风力、有效养分、时间、季节和植物体本身的状况等。例如，弱光使植物增加对二氧化氮的敏感性，而降低二氧化硫监测植物对该气体的灵敏度。低浓度的二氧化硫在有雾、露或毛毛雨时比在干燥时易使植物的叶子受伤；给葡萄施用正常的肥料，可提高它对氟化氢的抗性。

植物的不同生长发育阶段对污染反应大不一样，因而监

测作用也有变化。幼龄植物抵抗力强，中龄植物最为敏感。水稻在抽穗、扬花、灌浆时期对污染反应最敏感，受害也最大；而老熟时期敏感性降低。植物略微萎蔫时比正常时不易为二氧化硫所伤害。气孔开闭也关系着植物的敏感性，晚上气孔关闭时，植物对污染反应不敏感。健康的植物易受污染，有病的则为害程度较轻。有人做过试验，6天前感染过烟草病毒的植物，用 0.3ppm 臭氧熏蒸6小时，不出现任何中毒现象，而未受感染的植株，处理后，隔天就出现典型的臭氧中毒症状，可能是病株对污染反应迟钝的缘故。

此外，值得注意的是几种有害气体在一起时会引起植物组织受害加重。用 0.03ppm 的臭氧或 0.24ppm 的二氧化硫单独熏蒸烟草4小时，都不产生伤害，而 0.027ppm 的臭氧和 0.24ppm 的二氧化硫共同熏蒸4小时，则使烟草 38% 的叶面积受伤。这是利用植物监测大气污染所必须注意的问题。

（四）植物对污染物质的吸收、代谢、积累及其对污水净化作用

存在于环境中的铜、锌、铁、锰等元素，是植物必需的微量元素，缺少它植物不能正常生长，过量就会使植物中毒受害。一些有机物质，如酚类化合物和氰化物等也有类似的情况，少量对植物生长有一定的刺激作用，过量也会引起中毒。当然不同的植物对无机元素和有机化合物的反应是不一样的。有

的植物对某种污染物很敏感,有的却抗性较强;有些植物体内积累某种污染物而不受害;还有的污染物经过植物的吸收、代谢而解毒。因此,可利用植物对污染物质的吸收、代谢,以达到净化污水的目的。植物通常不能离开土壤而生存,它们在净化污水过程中,污染物的一部分为植物所吸收,另一部分为土壤颗粒所吸附、累积,或被土壤微生物所分解,达到净化的目的。

植物是一个很复杂的有机和无机物质的加工厂,植物体内包含种类繁多的天然有机的和无机化合物,现就与环境污染密切有关的,分述如下:

1. 酚类化合物

形成和积累酚类化合物是植物体固有的特性。高等植物体内都含有一定数量的酚类化合物。植物体内的酚类化合物主要有三大类:即花白素、黄酮类化合物和羟基芳香酸。有花植物中 40% 都含有花白素,尤以木本植物最普遍,单宁就是一种花白素。黄酮类化合物在 60% 的有花植物中出现,以草本植物最为普遍,如茄科植物中常见的莨菪亭。羟基芳香酸在植物中常见的是与奎宁酸结合的咖啡酸和β-香豆酸。

植物的不同种、属和同种植物的不同器官,所含的酚类化合物也不一样。如禾本科植物的谷类和麦类中,经常出现的有黄酮和阿魏酸等;各种豆类,如蚕豆等荚果和种子多含有三羟基酚,百合科的洋葱和葱的可食部分经常出现黄酮醇、咖啡

酸和阿魏酸。大麦的种皮中含有花白素,而茎和根则没有。

酚类化合物属于非激素物质，它可以直接影响植物或通过影响植物生长素的代谢而对植物的生长起作用，并能促进色氨酸合成一种重要的植物生长素——吲哚基醋酸。酚类化合物还可以调节植物生长素对生长的作用，控制植物生长素破坏的速度。酚类化合物对植物的各种影响取决于其本身的结构,如多羟基的酚类化合物可以破坏植物生长素,阻碍植物的生长;二羟基酚类化合物可防止植物生长素受到破坏,具有促进生长的作用。因此酚类化合物中羟基的数量及其在苯环中相互的位置对植物的作用变化很大。一定浓度的单元酚—苯酚,会损伤植物的细胞质膜，由于渗透机制的破坏，使植物细胞的吸水能力减低。有的苯环上,羟基的数量增加,酚类化合物的毒性作用降低。羟基在苯环中的位置不同，对植物的毒性也不同，如联苯三酚比间苯三酚毒性更大。在高浓度联苯三酚作用下会使细胞水分外渗,引起植物的萎蔫。

不同植物对酚的吸收、代谢和积累特点不一样,利用植物的这种特性，可以净化污水。 浓度 12.28ppm 的含酚废水灌溉蔬菜、油菜、大葱、土豆、西红柿、胡萝卜、豇豆角,吸收、积累酚的量较高，超过清水灌溉的同种植物含酚量 1—6 倍。但是小白菜、菠菜、洋白菜、大萝卜虽然在同样浓度的含酚水灌溉下，其含酚量较少，基本上与清灌植物相似。这是由于不同植物的吸收能力不一，也与植物的生长期长短和灌水次数有关。

生长在水边的灯心草、盐生灯心草和水葱都能净化污水

中的单元酚,其净化能力以灯心草最强(表 3.2)。每 100 克盐生灯心草 24 小时可净化 3ppm 五氯酚。在温度 18—20℃ 条件下,水葱 50 小时内可全部吸收 5 升水中 10ppm 的酚。甚至当酚浓度高达 600ppm 时,都能被水葱吸收,而且水葱发育比在无酚水中还好。

水葱具有庞大的气腔和强大的根茎,生活力比较强。植株表层含有一层蜡质,干枯的植株漂浮于水面,可被水浪带到

表 3.2 植物净化单元酚的能力

植物种(每100克)	10小时	50小时	100小时
	净化酚的浓度 ppm		
盐生灯心草	108	132	204
灯 心 草	94	164	230
水 葱	65	118	202

注: 按××小时计算,每100克植物净化单元酚的浓度。

岸上,水葱吸收的酚不重返水体和沉积于淤泥中,对污水起良好的净化作用。芦苇也有净化含酚污水的能力,每 100 克鲜重的芦苇在 24 小时内能将 8 毫克酚代谢分解为二氧化碳。

人们常利用含酚废水灌溉农田,以达到利用水源,净化水质的目的。污水进入农田,一部分为植物所代谢,另一部分被土壤所净化。土壤对酚类化合物具有吸附和挥发作用。特别是有机质含量高的土壤,吸附能力就更强。含酚水进入农田后,这类化合物最初分布在 0—35厘米土层中,随着水缓慢下渗,在 35—60 厘米深的土层中能测出微量的酚,但过了几天,土壤各层均检不出酚来。在经常利用含酚水药灌溉的条件下,

土壤微生物区系发生了变化，吃酚的微生物群落逐渐发展起来，酚氧化酶也更活跃，微生物对酚的分解作用加速，使土壤中的酚类化合物很快得到净化。有人做了个有趣的试验，取50克新鲜土壤(含水量 16.3%)，加入 25 毫升的 10ppm 酚水：在 28℃ 恒温条件下，在 8 小时后测得土壤含酚量为原来的 24%，1 天后降低为 5%，2 天后再未测出，这里可以看出土壤对酚的净化作用。

由于植物和土壤能够高度净化含酚废水，利用废水灌田，必然会减少对江、河、水库等的污染。但是植物和土壤的净化能力是有一定限度，利用含酚废水灌田必须控制在允许浓度之内。

2. 氰 化 物

氰化物对植物的作用以及其在植物体内的吸收和转化是个比较复杂的问题。这类化合物对植物的呼吸有抑制作用，还能控制植物体内多种金属酶的活性。但是它们的控制作用随着时间而减弱。近年来同位素 C^{14} 与 N^{15} 的应用，比较清楚地了解氰化物在高等植物体内的代谢过程。

用浓度 0.1 和0.5ppm 的带有放射性同位素的($C^{14}N$)氰溶液灌溉小麦，随着污水中氰溶液的增高，在麦粒和麦秆中的含量也增大。$C^{14}N$ 进入植物体后，植物体内的 $C^{14}N$ 的残留量比进入植物的 $C^{14}N$ 量低得多，这是由于 $C^{14}N$ 进入小麦后，在植物生长发育过程中绝大部分的 $C^{14}N$ 被分解、代谢，转化为

其他形态化合物。$C^{14}N$ 首先与植物体内的丝氨酸结合而形成晴丙氨酸，然后又逐步转化成天冬酰胺及天冬氨酸，这些物质是植物细胞内正常存在的代谢产物。在植物成熟后，仅有很少一部分以无机氰和有机氰形态存在，约占灌入量的十万分之三至七。因此利用植物对氰化物的吸收、积累和代谢能力，可以选择代谢能力强的植物来净化污水，也可以利用农田净化污水。

简单氰的化合物通过灌溉进入土壤后，大部分被土壤粘粒所吸附，但过一段时间后，含氰量又显著减少。所损失的氰化物，部分可能水解成氢氰酸而挥发，另一部分被土壤微生物分解成甲酸盐和氨，作为微生物的碳源和氮源而利用。核桃、杏树和亚麻的根际微生物对氰化物具有良好的净化作用。在土壤中残存的氰化物常与土壤中金属离子形成比较稳定的络合物，这部分就是残留在土壤中的复合氰，在土壤中简单氰含量很低，只有在污水灌溉期间，土壤含氰量迅速提高，但又很快分解、净化。利用农田净化含氰废水，只适用于低浓度废水，因为废水中含氰浓度过高，超过植物代谢能力，氰化物在体内大量积累，以至中毒受害。

3. 悬浮物、耗氧量

植物还可净化污水中其他污染物。在生活污水灌区，灌溉前污水先经过沉淀，然后将污水放入稻田停留 2—4 天，污水中的生化需氧量可从 18.76ppm 降至 3—4.02ppm。溶解氧

可从原来的 2.07ppm 达到 4.8—6.64ppm。我国利用污水灌溉的经验证明,污水在稻田停留 5—7 天后,悬浮物可降低 75—94%,生化需氧量降低 72—97%,细菌总数降低 98%。

利用城市污水灌溉藕田,当污水在藕塘停 8—7 天后,生化需氧量除去 95.2%,细菌总数除去 99.1%,氨氮去除 88%。说明稻田和藕田都有净化污水作用。

用沉淀后的城市污水种植水生植物如茭白、慈菇都有净化污水的作用(表 3.3)。芦苇、香蒲、眼子菜和凤眼莲等植物,能除去污水中石油加工所产生的污染物95%以上。芦苇还可增加污水中的溶解氧,并很快降低污水中的化学耗氧量。

水葱能降低水体的生化需氧量,对酸、碱性污水有一定的忍受性。特别对食品工厂的废水净化是有效的,废水中化学耗氧量两天内降低了 70—80%;溶解氧的含量,从 0.2ppm 提高到 2ppm;在两星期内,生化需氧量降低了 60—90%。因此,水葱净化污水,相当于微生物的净化作用,能提高水体的自净能力。

表 3.3 水生植物对净化污水的效果

作物	月份	水温(℃)	水深(厘米)	停留时间	生化需氧量 ppm			氨 ppm	
					进水	出水	去除效果	进水	出水
茭白	8	27.3	13.8	6.36	18.08	19.7	87	33.8	12.2
	9	25.5	15	6.5	150	17.8	88.5	46.6	23.2
	10	20.5	14.2	10.59	188.8	16.8	90.0	66.5	24.7
慈菇	8	27.3	5.65	2.97	119.8	21.8	85.9	35.7	17.6
	9	25.5	5.02	2.35	138.5	25.0	81.5	45.7	15
	10	20.5	6	7.08	181.0	18.12	85.4	56.0	21

水生植物和农田对污水的净化作用，受自然条件和灌溉制度的影响较大，在气温低，雨多和污水在农田停留时间短的情况下，净化效果较差。

4. 铬

铬是植物正常生长所需的一种微量元素。植物在其生长过程中，从外界条件吸收铬。铬可以通过根和叶进入植物体内。黑麦、小麦和玉米通过根冠吸收三价铬，而不需通过根毛，玉米植株也没有根毛。将氯化铬和铬酸钠分别滴加或喷撒于大豆或莴苣叶上，发现铬渗入了叶片，并积累在被处理的区域内，未见铬在植物体内转移。还有人在盆栽试验中发现，植物细根中的铬含量随施入的铬量而增加，但是植物其它部分中铬含量却增加极微，被吸收的铬，主要都留在细根中。水稻也有类似的情况，随着灌溉水中铬浓度的增加，水稻茎叶中的铬含量也增加，而铬却不转移到种子中去。

植物体内铬的含量随植物品种、土壤以及收获季节的不同而有很大的变化。对 31 种蔬菜和 11 种水果进行铬含量的分析。发现蔬菜中的铬含量在7—172ppb之间，水果中的铬含量在 11—55ppb 之间。生长在小麦地中的某些杂草，含铬量比小麦还高。植物体内的铬含量随品种的不同有很大的差异，这种差异比镍、钴、铜、铅等金属更为显著。

当植物的周围环境中铬含量较大时，一般植物体内的铬含量也增大。含铬肥料与含铬废水的使用，也可能使植物体

内铬含量增加。有人测定了分别用含铬工业废水和河水灌溉的蔬菜中的铬含量,发现污灌的胡萝卜中,铬含量比清灌的高10倍,西红柿高2倍,甘蓝高3倍。含铬水灌溉水稻后,铬可以在植株与稻谷中积累,稻草中的积累量大于稻谷。有些作物如胡萝卜,外界铬含量增大时,它能积累多量的铬。利用植物能积累铬的作用,可以用来净化污水,但哪些植物积累铬的能力较强,有待进一步的研究,而且必须从非食用作物中选择可作净化的植物。

5. 镉

镉是一种毒性较强的金属。植物可以通过叶子和根系吸收镉,而且运输到植物体的各部分。例如,薄荷的根吸收镉24小时后,可经过维管束逐渐转移到植物的所有部分,特别是在下部叶片中积累最多。萝卜吸收的镉大多转运到叶子中,根部积累的镉较少。而水稻吸收、积累镉的情况与此相反,镉在水稻的根中积累最多,茎、叶次之,稻谷中最少。用氯化镉喷洒苹果树,叶吸收镉后,可在结实期间转移到果实内。此外,生长在水里的浮萍及生长在岸边的河柳都有吸收和积累镉的能力。

但各种植物吸收镉的能力有很大不同,例如,在同样土壤上生长的白栎和山核桃,山核桃吸收的镉要比白栎多5倍。谷类作物吸收镉的能力也有差别。小麦和大麦吸收积累的镉要比水稻多几倍。不同类型的土壤上生长的玉米干物质中的镉

含量为 0.81—2.43ppm，其中成熟的玉米叶中镉的平均值为 1ppm，干玉米粒中为 0.96ppm，种子的外种皮中为 0.67ppm，而与玉米一起生长的豚草中的镉平均含量为 0.46ppm。在土壤中镉的浓度为 0.5ppm 的情况下，所生长的各种蔬菜含镉量变化也很大，莴苣、土豆、洋白菜、甜菜的灰分中正常的或平均的含镉量为 1ppm，蚕豆灰分中为 2ppm。但在某些工业区和城市中的同类蔬菜灰分中的镉含量都很高，如莴苣可高达 87 ppm，土豆 12.7ppm，洋白菜 3.9ppm，蚕豆 2.4ppm，甜菜3.0 ppm。在所生产的米中含镉量达 1ppm 以上的受污染土壤上，种植其它的作物，各类植物的含镉量也有很大差别。麦类含镉量较高，如裸麦含量为 2ppm，小麦 1—3.5ppm，大豆 1ppm，西红柿 0.6ppm，黄瓜 0.15ppm，茄子 0.27ppm，甘蓝和葱 0.1 ppm，萝卜 0.06ppm，胡萝卜 0.26ppm，土豆 0.2ppm。在蔬菜中根菜类含镉有稍高的趋势。由此可见，即使在受污染的土壤上，由于各种植物吸镉的能力不同，植物体内镉的含量也不一。在含镉量 95ppm 的污染土壤上所生长的燕麦，它的根部含镉量达 237ppm，这是很惊人的例子。我们可以利用植物的这一特点，在受镉污染的土壤上种植吸收镉能力差的作物，以减少镉在植物性食物中的残留量。或种植吸收镉能力强的非食用的植物，逐步减轻土壤污染程度。

植物中的含镉量与污染源的距离及风向有很大关系。在公路边，由机动车辆排出废气中的镉沉积于土壤中，致使路边的禾本科草类的含镉量较高，而离公路渐远，草类中的含镉量逐渐降低。在离某公路 8 米处所采集的干草中，含镉量为

0.63—1.25ppm，离公路 32 米处，干草的含镉量为 0.25—0.58 ppm。一般生长在离工厂近的向风处，植物中镉的含量也较高。生长在锌冶炼厂附近 400 米处的干桑叶中含镉 17ppm，1000 米处为 7ppm，2500 米处为 4ppm，不受污染的桑叶中，镉的含量仅 1ppm。蔬菜作物中镉的含量也是距工厂愈近，含镉量愈高。这些植物中高浓度镉的积累，主要是通过根系的吸收和运转，而大气中的镉在植物表面的沉积不是使植物体内镉的浓度增高的主要原因。

此外在某些受污染的湖水中，发现浮萍具有吸收和积累镉的能力，浮萍的干物质含镉量可达 17ppm。在河边生长的河柳的柳絮和苹果花干物质中含镉量分别为25ppm 和24ppm。这些都充分说明植物具有吸收、积累镉的能力。

植物吸收土壤中的镉，受土壤质地、酸碱度等条件的影响。镉从大气或灌溉水进入农田土壤后，被土壤颗粒所吸附，聚集在表层或较深的下层。土壤中的镉分为水溶性及非水溶性两类，水溶性镉可以被作物吸收，非水溶性镉不易被植物吸收。但由于土壤条件的变化，二者可互相转化，如土壤偏酸性时，镉的溶解度增高，在土壤中易于移动；土壤为碱性时，镉不易溶解，作物难以吸收。土壤的氧化还原条件与镉的活性关系也很密切。当水田灌溉时，土壤微生物活动旺盛，土壤中的氧被消耗，土壤呈还原状态，使有机物不能完全分解，而产生了硫化氢，镉与硫的离子结合，形成难以溶解的硫化镉沉淀，作物难以吸收。当使用硫铵及硫酸盐肥料时，由于硫还原细菌的作用，水田里的硫酸被还原成硫化氢，使硫化氢的形成更

加活跃，土壤中易为水稻吸收的镉遇到硫化氢，也转变成硫化镉，因此，硫化镉的沉淀也越多。相反，在通气好的条件下(稻田的排水期及旱田)，硫化镉被氧化成硫酸和镉离子，使土壤的酸度增加，镉易变为可溶性，被植物吸收的也多。此外，土壤质地，有机质含量等对镉的存在形式也有影响，在中等粘土和有机质成分多的土壤，可吸附镉影响它的移动。不同质地的土壤对镉的吸收也不同，在用不同浓度的含镉废水灌溉重粘土和壤土上栽培的水稻，如长期淹水，大米的镉含量较低，两种土壤几乎一样；而在水稻分蘖期以后就把水放干，大米的镉含量就显著地增加，壤土上生产的大米比重粘土上的增加更明显。镉还可与有机磷酸结合，形成难以分解的化合物。

6. 汞

汞进入植物体内有两条途径：一条是土壤中的汞化合物常常转变为甲基汞或金属汞后，为植物根所吸收，另一条途径是通过叶片吸收，叶片的气孔有吸收和排汞的能力。叶片所吸收的主要是喷洒的农药或雨水中的汞。植物吸收和积累的汞与汞化合物的类别和浓度有关。将低浓度的氯化亚汞和氯化汞施入土壤中，土豆、胡萝卜、莴苣、豆类中的含汞量很低，对作物无害，而将醋酸汞、醋酸苯汞施入土壤中，则发现豌豆根中有汞的积累。植物体内的含汞量会随着土壤中汞浓度的增加而增高，通常根中含量最高，茎叶比根较低，果实中含量更少。这是由于汞被植物根系吸收后，常常与根中的蛋白质产

生反应而沉积于根上，很少向地上部分转移。

利用放射性同位素汞^{203}，可以观察不同时期灌溉含汞废水，汞进入作物的状况。在抽穗期应用含汞^{203}废水进行灌溉。汞^{203}进入麦粒的数量较多，在冻灌与孕穗初期灌汞^{203}，进入麦粒的数量仅为抽穗期的40%左右。在孕穗初期灌一次含汞水，麦粒中含汞量也比抽穗期灌溉的少。冻灌水中的汞进入麦粒的比例较少。这可能由于前期是营养生长时期，而孕穗期，尤其是抽穗、开花期是繁殖器官旺盛发育，籽粒形成的时期，大量水分和养分输向穗部，汞也随着水流进入穗部，进入籽粒，所以后期灌汞^{203}的小麦，麦粒中汞^{203}的含量最高。至于小麦籽粒和茎秆之间汞含量的比值，因灌溉期不同而异。抽穗期灌含汞水的小麦，茎与麦粒的比值较小。灌含汞水的时间愈提前，茎与麦粒的含汞量比值增大，籽粒中汞含量愈降低，相应地茎秆中的汞含量升高。

当在土壤中加入汞，使含汞量达4微克/克时，所生长的菠菜的叶和根、硬花甘蓝根、豌豆蔓、胡萝卜上部的汞含量显著增加，但是菜花根、豌豆豆荚和根、燕麦秆、萝卜块茎和根的汞含量没有增高，这些植物器官只有当土壤中含汞量达20微克/克时，才有明显增加。在上述的植物中，含汞最多的是菜花根，几乎所有植物根部含汞都较多。在蔬菜的食用部分中，菠菜叶、萝卜块茎积累汞很多。汞在胡萝卜体内的分布表明，汞主要积累在根内，并可运输到顶部。在燕麦中，汞的含量依根、荚、叶、茎、果实而递减，并把茎看作植物根到叶、荚部分的运输器。燕麦麦粒和豌豆种子即使在土壤中含汞较高的条件

下，种子中含汞仍很少。在受污染的土壤上，选择这种作物，可以避免食品污染。

7. 锌

锌是植物正常生长所必需的元素，但其需要量极少，仅为磷的1/100。锌在植物体内对细胞的氧化过程有催化作用；且普遍存在于酶中，是碳水化合物转化所必需的物质；同时增加形成叶绿素的能量来源，有助于植物生长物质的形成；增加植物对水分的吸收和防止矮化等。

锌在植物体内主要积累在根尖、茎尖和幼嫩的叶子中。这种元素在植物体内的分布与生长素在数量上存在着平行的关系，即生长素含量高的部位，锌的含量也高。锌在植物的地上部分和地下部分存在的状态是不一样的。在地上部分（茎和叶）55—57%是水溶性状态，而地下部分（根）70—85%是以非水溶性状态存在。此外，光能促进植物对锌的吸收。

锌在植物体内自然含量为30—160ppm左右。在农作物的果实中含锌量较低如谷子、玉米、高粱、小麦。水稻的自然含锌量约15—25ppm。但还由于土壤中锌含量的差异，在作物中的含量变化很大。水生植物也有同样情况。如黑藻当底泥中含锌量约300ppm时，黑藻体内锌的含量为137ppm，但在底泥含锌29ppm，黑藻中的锌为34ppm，可见在不同基质条件下，植物体内的锌含量变化很大，也说明黑藻具有极强大的吸收锌的能力。

凤眼莲（水葫芦）也是一种吸收锌能力较强的水生植物，它的自然含锌量较高，在 115ppm 左右。利用含 10ppm 硫酸锌的废水栽培这种水生植物，38 天后，体内的含砷量可达 280ppm，比自然含锌量增加 133%。在水生植物中浮萍、菹草、金鱼藻都具有较强的吸锌能力。特别是菹草最为显著。利用各含 2 ppm 硫酸锌、砷酸氢二钠、氯化汞、重铬酸钾的混合废水栽培菹草 1 个月左右，这种植物体内的含锌量超过自然含锌量 8 倍。因此菹草、金鱼藻、凤眼莲有希望作为污水中锌的净化植物，黑藻的净化锌的作用也值得重视。

有些植物对锌的抵抗力很强，特别适应于在锌矿周围、含锌量很高的土壤上生长，这些植物的出现，意味着这里土壤有可能含锌量较高，可作为锌的指示植物。在这些植物中，有的仅局限于受锌污染土壤上；有的在污染与非污染地区均能生长，但一般在锌污染的土壤上数量丰富，生长健壮；也有的在污染土壤上经常遇见，但数量及生长状况中等。锌的指示植物有禾本科的细叶小糠穗、狐茅、紫狐茅、黄花草、蓼科的酸模、车前科的长叶车前，从及多种紫云英、紫堇、白鼓钉、遏蓝菜等。

8. 砷

砷在自然界广泛分布，是一种微量元素，在地表多呈砷酸盐的状态存在。据报道岩石中的砷约为 1—10ppm。植物和土壤中都含砷，土壤中自然含砷量一般为 10—13ppm，黑

钙土的砷含量最高，其次为灰色森林土，在灰化土中砷的含量最低。植物灰分中的平均含砷量为 5 ppm，不同植物种的含砷量也不同，地衣喜生于砷富集的地区，有些国家利用地衣作为砷污染的指示植物，一些农作物籽粒和蔬菜的自然含砷量为 0.02—0.80 微克/克干重，小麦 0.68—0.557，大豆 0.091—0.141，玉米 0.025—0.398，大米 0.152—0.598，黄瓜 0.029—0.787，土豆 0.15—0.4，茄子 0.075—0.15，胡萝卜 0.028—0.432。

在农作物的其它部分自然含砷量较籽粒中为高，玉米、谷子根中自然含砷量为 1—2ppm（以干重计），茎叶为 0—0.6；小麦根及茎叶中的含砷量均在 1 ppm 左右，唯水稻根系中含量较高，即使在浓度很低的含砷废水灌溉条件下，水稻根系中砷的积累量可达 50—60ppm。可见不同作物自然含砷量不同，而且吸砷的能力也有很大差异。在同样的污灌条件下，水稻中的砷含量大于小麦、玉米和谷子。

各种高等水生植物体内的含砷量有所不同。莲叶是含砷量最少的植物。杏菜、金鱼藻、茨藻、竹叶眼子菜一般砷含量在0.05—3ppm。黑藻、苦草、篦齿眼子菜、荼、水鳖一般含砷量在 1—8ppm。同种植物由于水系及底泥中的含砷量不同而存在较大区别，如黑藻的最低含量为 0.40 毫克/公斤，其最高含量可超出其十倍。芦苇根含砷量的变化幅度也很大，由 0.5—6.5ppm，这些都说明在不同环境条件下，植物对砷的吸收和积累量是有所变化。

在水生植物中菹草和金鱼藻对砷具有较高吸收和积累能

力，这两种是沉水的水生植物在淀泊、河道能流动的水系中生长较多。菹草的自然含砷量在 6 ppm 左右。在含砷酸氢二钠、硫酸锌、氯化汞、重铬酸钾各 2 ppm 的混合废水栽培下，菹草体内的含砷量高出自然含砷量约 16 倍，金鱼藻高出其自然含砷量 2 倍以上。浮萍对砷的吸收，随着废水中浓度的升高而增强，而且在水中生长发育良好。特别是在酸性的含砷废水中，浮萍的吸砷量大于碱性的废水，其积累量可超过 1 倍以上。

凤眼莲是一种对含砷废水敏感的植物。用浓度0.06ppm的砷溶液灌溉，二小时左右即出现受害症状，主要表现在外轮的老叶上，叶片先端出现水渍状褪绿，用浓度 0.14ppm、0.24ppm的含砷溶液灌溉出现同样症状，但受害面积较浓度 0.06ppm处理的为大。三个半小时后叶片的水渍状褪绿面积，随砷浓度增加而增加。36 小时后，随砷浓度增加，其受害叶片亦增多，它们的枯萎部分，由绿色变为绿褐色。叶柄基部出现褐色条斑，浓度 0.24ppm 处理的植株，根系变黑色，若不继续灌溉，一个多月后，外轮老叶大部枯死，新叶陆续长出，并能开花，由于凤眼莲对砷的敏感性，可把它用作砷的监测植物。

9. 硒

硒也是植物生长必需的微量元素。植物从土壤中吸收硒，并把它转变成可溶性化合物。若植物枯死后腐烂，便把这些化合物带入土壤，硒易于为植物所吸收。有些地区上层土

壤硒的含量增多可能是通过上述的这种循环，也可能是工业废水的污染。

植物吸收和积累硒是依种类、环境因素、年龄、生长期和硒化合物的特性而异。植物吸收积累硒的能力大致可分为三大类：①能吸收积累大量硒的植物，其吸收量可达1000—10,000ppm，如紫云英这个属有200多种，是硒的积累者。②能吸收积累几百ppm硒的植物，如滨藜。③大部分栽培的作物、谷类和天然禾本科草类吸收积累硒的量较少，最大只达30ppm。有人对30种作物进行试验，说明不同作物对硒的吸收、积累能力也不同，如苜蓿、甜菜，硒的含量小于0.1ppm，西红柿0.1ppm，胡萝卜0.3ppm，蚕豆0.4ppm，玉米0.6ppm，燕麦0.7ppm，豌豆1.7ppm。

综上所述，植物从土壤或水中吸收重金属元素，大部分积累在根中，只有一小部分转运到地上部分。植物对这些无机元素的吸收，受土壤中各种条件的影响，如有机质，酸碱度，此外，还决定于元素之间的关系。所以，植物净化土壤中有毒重金属元素的问题比较复杂。一般来讲，净化被污染的土壤比较困难。这是因为植物的根大部分残留于土中，被根吸收的重金属又返回土壤中；而植物的茎叶常通过秸秆还田或动物的粪便返回土壤中，因此，难以达到净化的作用。但一些吸收积累重金属能力强的植物，由于植物残体可以从水中清出或沉积于淤泥中，对污水的净化可起一定的作用。

（五）植物对噪音的防止作用

由于汽车、火车、飞机（特别是超音速飞机）以及工厂和工程建设的轰鸣和尖叫，噪声已成为城市污染问题之一。噪声使城市居民的生活不得安宁，使他们的身心健康受到严重影响。居住于噪声地区的工人，其工伤事故明显的多。噪声不仅损害听力，而且在很高声音中工作的人，心血管性疾病，耳鼻喉疾病以及平衡失调症的发病率都比较高。噪声的卫生标准为 30—40 分贝。

近年来噪声的污染已引起有关方面的重视，降低噪声和限制噪声传播的手段很多，如改进管理方法，采用技术措施，降低机器的噪声以及城市合理布局规划等等。植物在噪声的防治中也能起一定的作用。绿化造林也已成为城市防治噪声的一大措施。据测定，40米宽的林带可以减低噪声 10—15 分贝，30 米宽的林带可吸收 6—8 分贝的噪声。城市公园中成片树林可把噪声减低到 26—43 分贝，使对人有害的噪声接近于无害的程度。在没有种树的高大建筑的街道上，其噪声要比两侧种满树木的人行道大 5 倍；绿化的街道可减少噪声8—10吩，如沿街道的房屋后退 5—7 米，房屋与街道之间种树，则可减低噪声 15—25 吩。这主要是由于树冠有很强的吸音作用。

一般认为，树冠矮的乔木和灌木比树冠高的乔木防噪声的能力大，灌木的吸音作用更显著。阔叶树吸音效果比针叶

树好，几条狭林带比一条宽林带吸音作用大。由乔木、灌木、草本构成的多层稀疏林带比一层稠密林带的作用更显著。

总之，植树造林对于环境保护具有积极作用。它不仅能降低噪声污染，更重要的是林木和草地具有吸收、代谢和积累污染物的能力，在环境受到轻度污染条件下，植物可以净化大气，改善水质。由于植物与环境之间的相互影响作用，植树造林还能改善小气候，大大有利于人民的身体健康和工农业生产。因此大力开展群众性的植树造林是保护环境的一项重要措施。

统一书号：13031·70
定　价：0.44 元
本社书号：1011·13-